Phys. o. 1a
10.1

Johann Samuel Traugott Gehler's

# Physikalisches

# Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Gmelin. Littrow. Muncke. Pfaff.

---

Zehnter Band.

Erste Abtheilung.

W — Wae.

---

Mit Kupfertafeln I bis IX.

---

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1841.

Staatliche
Bibliothek
Bamberg

L 60/236

# Physikalisches Wörterbuch

X. Band.

Erste Abtheilung.

W —— Wae.

# W.

## Waage[1].

*Libra, Statera, Trutina, Bilanx;* Balance; *Balance.*

Ueber einen so vielfach in Anwendung kommenden Apparat ist ausnehmend viel geschrieben, so daſs es ermüden müſste, alles dieses zusammenzustellen. Ohne dieses zu beabsichtigen wird es genügen, das Wesentliche der Sache mitzutheilen, auf das minder Wichtige aber nur kurz hinzudeuten, um dadurch anzuzeigen, daſs ohne eigentliche Mangelhaftigkeit nur nach möglichster Kürze gestrebt ist. Dieser Zweck wird sich am besten durch eine systematische Zusammenstellung erreichen lassen.

Waage nennt man jedes Instrument, womit man das Gewicht eines Körpers miſst, d. h. die Stärke seiner Gravitation gegen die Erde, oder auch den Widerstand, welchen er gegen eine ihn bewegende Kraft ausübt, als die *Drehwaage*, wie nicht minder den Druck der Luft, weswegen das Barometer *Luftwaage* genannt wird; auch bezeichnet man mit diesem Namen wegen der Anwendung des gleicharmigen Hebels die Vorrichtung, vermittelst deren die Pferde angespannt werden, so wie endlich auch Instrumente, womit man eine horizontale Linie oder Ebene herstellt, als *Wasserwaage*, *Setzwaage* u. s. w. Diese letzteren Apparate gehören indeſs nicht hierher, sondern wir beschränken uns bloſs auf diejenigen, vermittelst deren das

1 Es ist in unserm Werke die minder gewöhnliche Schreibart Waage statt Wage gewählt, wofür sich anführen läſst, daſs dadurch ein Unterschied zwischen Waagen, womit man wiegt, und Wagen, worauf man fährt, so wie zwischen dem Zeitworte wagen gegeben wird, wie dieses auch bei Waaren und waren statt findet.

Gewicht der Körper, d. h. die Menge der in ihnen enthaltenen, gegen die Erde gravitirenden Theilchen, gemessen wird. Je nach den verschiedenen Bestimmungen hat man diesen Apparaten eigenthümliche Namen gegeben, und man unterscheidet daher die sogenannten Krämerwaagen, die chemischen, die Probirwaagen, Goldwaagen, hydrostatische Waagen u. dgl. Von der anderen Seite hat das Princip, worauf sie beruhn, den Grund zu eigenthümlichen Benennungen gegeben, indem sie zweiarmige Waagen, Schnellwaagen, Federwaagen u. s. w. heifsen. Alle diese einzelnen Benennungen werden im Folgenden, so weit es nöthig ist, berücksichtigt werden.

Die meisten und zugleich richtigsten hier zu untersuchenden Waagen beruhn auf dem Principe des *Hebels*[1], indem die zu messenden Lasten und Gewichte die auf die Hebelarme wirkenden Kräfte ersetzen. Die einfachste Anwendung dieses Princips ist aber in der zweiarmigen oder gleicharmigen, der sogenannten *Krämerwaage*, gegeben, die nach ihren verschiedenen Bestimmungen wieder als *chemische Waage*, *Goldwaage*, *Probirwaage*, *hydrostatische Waage* u. s. w. bezeichnet wird, und da so vieles, was bei diesen Apparaten überhaupt zum Wesen der Sache gehört, gerade hierbei vorzüglich in Betrachtung kommt, so ist es am geeignetsten, die Erfordernisse einer guten Waage und deren Bedingungen bei der Untersuchung über die Krämerwaage zu erörtern.

Man pflegt die Theorie der Waage, die auf den Gesetzen des Hebels und des Schwerpunctes beruht, vermittelst der sogenannten *Universalwaage* anschaulich zu machen, die nach Leupold[2] aus einem hölzernen, ganz regulären, in eine gewisse Anzahl gleicher Theile getheilten, Parallelepipedum besteht und mit gewöhnlichen, unten zugeschärften Zapfen in Pfannen auf einem Stative ruht. Soll der Apparat feiner seyn, so verfertigt man den Waagebalken aus Stahl und theilt ihn in gleiche aliquote Theile, die zu noch gröfserer Schärfe mit einem Nonius versehn und so eingerichtet werden, dafs sich die Schieber, deren mittlerer den Waagebalken trägt, während an den beiden äufsern die Waagschalen befestigt sind, auf dem Waagebalken sanft verschieben und

---

1 S. Art. *Hebel*. Bd. V. S. 105.

2 Theatrum staticum universale. Leipz. 1726. fol. Tab. V. fig. 2.

an jeder beliebigen Stelle feststellen lassen; allein die Theorie ist so einfach und an sich so klar, daſs sie eines Beweises durch das Experiment nicht bedarf, welches ohnehin schwierig ist, und wobei noch obendrein jede Abweichung von den Resultaten des Calcüls dem Mangel absoluter Genauigkeit solcher Apparate zur Last fällt. Die Theorie der Waage ist zuerst ebenso vollständig als gründlich durch L. Euler[1] gegeben worden, welchem nachher Karsten[2], Kästner[3], G. G. Schmidt[4], v. Gerstner[5], Letzterer mit einer sehr ausführlichen Darstellung alles dessen, was sich auf die Construction der verschiedenen Arten von Waagen bezieht, und viele Andere gefolgt sind. Beschreibungen von Waagen sowohl im Allgemeinen, als auch einzelner, nach abgeänderten oder verbesserten Principien construirter, giebt es in ausnehmend groſser Menge, unter denen ich auſser den bereits erwähnten von Leupold und Schmidt[6] nur die von Cramer[7], von Leutmanns[8] und von Körner[9] nennen will, mit Uebergehung derer, die sich in verschiedenen Werken, namentlich den Encyklopädien, finden, da ohnehin manche, die im Verfolge der Untersuchung Berücksichtigung verdienen, besonders erwähnt werden müssen.

## a) Krämerwaage.

Die Krämerwaage ist ein zweiarmiger Hebel, und da hierfür das Gleichgewicht statt findet, wenn $PL = P'L'$ ist, wobei P und P′ die wirkenden Kräfte, hier die Gewichte, L und L′ aber die Längen der Hebelarme vom Unterstützungspuncte an bezeichnen, so folgt hieraus, daſs beide Arme gleich lang seyn müssen. Allein der Hebel ist hierbei kein mathematischer, son-

1 Comment. Acad. Sc. Imp. Petrop. T. X. p. 1.
2 Lehrbegriff der gesammten Mathematik Th. III. Greifsw. 1769.
3 Anfangsgründe der Mechanik. Gött. 1780.
4 Sammlung physisch-mathematischer Abhandl. Gieſs. 1793.
5 Handbuch der Mechanik. Prag. 1831. 4. Th. I. S. 169.
6 Vergl. Magazin für das Neueste aus d. Phys. Th. IX. St. 3. S. 71.
7 Elementa artis docimasticae. Lugd. Bat. 1733. 8. Anfangsgr. d. Probirkunst. Ueb. von Gellert. Leipz. 1749. 2te Aufl. 1766. Th. I. S. 304.
8 Comment. Petrop. T. II. p. 35.
9 Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer u. s. w. Jena 1824. 8.

dern ein physischer, aus einem Körper bestehend, welcher selbst ein gewisses Gewicht hat, und da auch dieses zugleich auf die Hebelarme wirkt, so mufs das Gewicht eines jeden der beiden Hebelarme in seinem Schwerpuncte genommen werden, um dessen Abstand vom gemeinschaftlichen Unterstützungspuncte zu finden. Hiernach würde der Zustand des Gleichgewichts hergestellt seyn, wenn

$$PL + pl = P'L' + p'l'$$

wäre, worin p und p' die Gewichte beider Arme in ihrem Schwerpuncte, l und l' aber die Abstände beider Schwerpuncte vom gemeinschaftlichen Unterstützungspuncte bezeichnen.

Das erste und wichtigste Erfordernifs einer Waage überhaupt ist, dafs sie *richtig* sey, d. h. dafs die gewogenen Gegenstände genau so viele schwere oder gegen die Erde gravitirende Theile haben, als das zum Wägen verwandte Gewicht nach der eigenthümlichen Construction der Waage angiebt. Bei der Krämerwaage soll der gewogene Körper genau so viel wiegen, als das angewandte Gewichtstück, und da dieses nicht blofs für $P = P'$, sondern auch für $nP = nP'$ erforderlich ist, wobei n eine beliebige ganze oder gebrochene Zahl bezeichnet, so kann die Bedingung der Richtigkeit einer solchen Waage nur dann statt finden, wenn $P = P'$, $L = L'$, $p = p'$ und $l = l'$ ist, oder *beide Hebelarme müssen einander an Material, Länge und Dimensionen völlig gleich seyn.* Allerdings kann ein Zustand des Gleichgewichts statt finden, wenn die Ungleichheiten auf beiden Seiten sich aufheben, was auch für ein gegebenes $P = P'$ möglich seyn würde, wenn die dabei statt findende Ungleichheit von L und L' durch die Ungleichheit von pl und p'l' aufgehoben wäre, nicht aber für $nP = nP'$, und die Waage würde dann blofs für ein bestimmtes Gewicht allerdings richtig seyn, für jedes andere aber unrichtig. Unter den verschiedenen hierfür möglichen Fällen wollen wir beispielsweise nur L' und p' von L und p verschieden annehmen. Hierdurch verwandelte sich die Gleichung

$$PL + pl = P'L' + p'l' \text{ in}$$
$$PL + pl = P'(L \mp x) + (p \pm y)l',$$

woraus dann aber folgen würde, dafs

$$nPL + pl \lesseqgtr nP'(L \mp x) + (p \pm y)l'$$

werden müfste. Nimmt man Werthe in Zahlen an, so wäre

$$3 \times 6 + 2 \times 3 = 3 \times 5 + 3 \times 3,$$

allein

$$2.3 \times 6 + 2 \times 3 > 2.3 \times 5 + 3 \times 3.$$

Gewöhnlich vernachlässigt man die Prüfung der Bedingung, ob $p l = p' l'$ sey, weil man voraussetzt, dafs geübte Künstler diese von selbst erfüllen werden, allein die vorstehende Betrachtung zeigt deutlich, dafs sehr feine Waagen auch in dieser Beziehung Vorzüge vor andern minder genauen haben können. Es ist jedoch nicht schwer zu entscheiden, ob eine gegebene Waage in dieser Beziehung richtig sey, denn da ohne eine Belastung in beiden Waagschalen die letzteren selbst die Gröfsen P und P′ der Gleichung abgeben, oder diejenigen Kräfte sind, welche auf die beiden Arme des Hebels wirken, so würde in dem Falle, wenn diese Gröfsen ungleich sind und die Waage sich dennoch mit ihnen ins Gleichgewicht stellt, nach Wegnahme derselben $PL$ und $P'L' = 0$, dagegen $p l \lesseqgtr p' l'$ werden. Man darf daher, um diesen Fehler zu entdecken, nur von einer im Zustande des Gleichgewichts sich befindenden Waage die Schalen abnehmen, worauf ein mit diesem Fehler behafteter Waagebalken aus dem Gleichgewichte kommen und an einer Seite herabsinken wird.

Die Richtigkeit einer Waage erfordert aber aufserdem, dafs $PL = P'L'$ und zwar in der Art sey, dafs $P = P'$ und $L = L'$ seyn mufs, welches jedoch nicht nothwendig statt findet, wenn der Waagebalken sowohl ohne die anhängenden Schalen als auch mit denselben sich ins Gleichgewicht stellt; denn es kann allerdings $(P + x) L = P (L + y)$ seyn, das heifst, das Gleichgewicht kann auch unter der Bedingung statt finden, wenn eine schwerere Schale am kürzeren und eine leichtere am längeren Hebelarme hängt, obgleich der Waagebalken für sich allein gleichfalls sich ins Gleichgewicht stellt. Es liegt indefs in der Natur der Sache, dafs man auch diese Bedingung leicht prüfen könne, wenn man nur die Schalen verwechselt. Inzwischen ist dieses bei vielen Waagen nicht thunlich oder mindestens beschwerlich, und man bringt daher meistens ein anderes, ebenso einfaches, Prüfungsmittel in Anwendung, indem man die Waage mit einer in jeder Schale liegenden Last ins Gleichgewicht bringt und dann die Lasten verwechselt. Inwiefern dieses gegründet sey, ersieht man bald aus der einfachen Formel für das Gleichgewicht. Es seyen demnach die

Gewichte der Waagschalen q und q + x, die Längen der Hebelarme L und L + y, so wird Gleichgewicht statt finden, wenn

$$(q+x)\,L = (L+y)\,q, \text{ also } y = x\,\frac{L}{q}$$

ist, d. h. der eine Hebelarm mufs um eine gewisse Gröfse länger seyn, welche mit dem Uebergewichte der einen Waagschale im geraden Verhältnisse ihres Hebelarmes und im umgekehrten des Gewichtes der anderen Waagschale wächst. Werden dann die Waagschalen verwechselt, so wirkt auf den einen Hebelarm ein Moment $= q\,L$, auf den andern aber $= (q+x)\,(L+y)$, und letzterer hat daher ein Uebergewicht $= (L+y)\,x + q\,y$. Werden dann in die Waagschalen einer solchen unrichtigen, aber doch im Gleichgewichte befindlichen Waage die Gewichte P und P′ gelegt, so mufs für den Zustand des Gleichgewichts $P' = P\,\frac{L}{L+y}$ seyn, d. h. das Gewicht auf der Waagschale des längeren Hebelarmes mufs in dem nämlichen Verhältnisse kleiner seyn, als der Hebelarm länger ist. Nach der Verwechselung dieser Gewichte würde auf die eine Waagschale das Moment $= P\,\frac{L^2}{L+y}$, auf die andere aber $= P\,(L+y)$ wirken, oder beide Gröfsen durch $L+y$ dividirt giebt $P\,\frac{L^2}{(L+y)^2}$ und P; d. h. das Gleichgewicht wird um so mehr gestört werden, je mehr $\frac{L^2}{(L+y)^2}$ von der Einheit abweicht oder je gröfser der Werth von y ist. In polizeilicher Hinsicht kommt zunächst nur die Richtigkeit der Waage in Betrachtung, um das Publicum gegen Uebervortheilung zu sichern, und in dieser Beziehung genügt daher die einfache Regel, dafs man die zu prüfende Waage mit willkürlichen Gewichtstücken ins Gleichgewicht bringt und dann die Gewichte verwechselt. Bei werthvollen Gegenständen, z. B. bei Gold und Silber, pflegt dieses stets zu geschehen, um Käufer und Verkäufer von der Richtigkeit der Wägung zu überzeugen.

Hierdurch würde sich die Unrichtigkeit der Waage herausstellen; es ergiebt sich daraus aber leicht, wie man die Gröfse des Fehlers einer Waage auffinden und bei der Voraussetzung

des gleichen Gewichtes beider Waagschalen, wofür der Künstler in voraus zu sorgen hat, durch Verbesserung der ungleichen Länge beider Hebelarme corrigiren könne. Die Bedingung der Gleichheit beider Arme ist dann vorhanden, wenn $P = P'$ den Zustand des Gleichgewichts hervorbringt, oder wenn die Waage sich bei gleichen Gewichten in beiden Waagschalen einstellt. Ist man im Besitze solcher gleichen Gewichte, so ist damit der Versuch bald angestellt, im entgegengesetzten Falle mufs man sich diese zu verschaffen suchen. Zu diesem Ende legt man in die eine Schale ein Gewicht P und in die andere so viele Gewichttheile Q, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, nimmt dann P heraus, legt statt dessen ein anderes $P'$, in der Regel etwas schwerer als P, hinein, und vermindert dieses so lange, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt worden ist, wodurch man also $P = P'$, zwei gleiche Gewichte, hat. Beschwert man die Waagschalen mit beiden letzteren, so wird im Fall der Gleichheit beider Waagebalken Gleichgewicht vorhanden seyn, im entgegengesetzten aber ein Niedersinken des längeren Hebelarmes erfolgen, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dafs die Schärfe dieser Prüfung der Feinheit der Waage proportional ausfallen mufs[1]. Die Abweichung der

---

1 Das Wägen mit sehr feinen Waagen ist höchst zeitraubend und erfordert grofse Sorgfalt, denn wenn auch zur Abhaltung des Luftzuges die Waage sich in einem Glaskasten befindet, so dauert es doch wegen der nach den Pendelgesetzen höchst langsamen Schwingungen sehr lange, bis der horizontale Stand des Waagebalkens eintritt, zu dessen vollkommener Herstellung meistens die hinlänglich feinen Gewichttheilchen fehlen. Um die letzteren herzustellen, was ohnehin in vielen Fällen nöthig ist, bedient man sich des gleichmäfsig gezogenen Drahtes, und Gauss findet hierfür den sogenannten Golddraht (übergoldeten Silberdraht) am geeignetsten. Hat man hiervon eine gewisse Länge von gegebenem Gewichte, so wickelt man ihn um einen gleichmäfsigen Cylinder, durchschneidet dann die schraubenförmigen Windungen parallel mit der Axe des Cylinders, und erhält dadurch gleiche aliquote Theile des Totalgewichts. Steht aufserdem die unbelastete Waage auf 0 der Scale ein, so legt man ein genau bestimmtes Gewichtstück auf, findet hierfür auf geeignete Weise den Werth der einzelnen Scalentheile, und bedient sich dann der letzteren zur Bestimmung des Gewichts, indem man aus dem Mittel der äufsersten Puncte, welche die Zunge beim Oscilliren des Waagebalkens erreicht, durch Wiederholung dieses Verfahrens, und indem man kleine Gewichttheilchen abwechselnd in die eine und die andere Waagschale

Länge ergiebt sich aus der Ungleichheit des Gewichtes eines und desselben Körpers in beiden Waagschalen. Denn wenn der Körper in der einen Schale liegend p, in der andern aber q wiegt, das wahre Gewicht aber = x ist, so folgt:

$$\begin{array}{l} L:L' = p:x \\ L:L' = x:q \\ \hline p:x = x:q, \text{ also } x = \sqrt{pq}, \end{array}$$

wonach also das wahre Gewicht der mittleren Proportionale aus beiden falschen Gewichten gleich ist. Betrüge z. B. p = 16 Unzen, q = 15 Unzen, so wäre $x = \sqrt{(16 \times 15)} = 15{,}49$ Unzen, und die beiden Arme verhielten sich wie 1600 : 1549 oder nahe wie 32 : 31. Ein so grober Fehler, als dieser, würde sich indeſs schon durch bloſse Messung ergeben, allein man verlangt die Genauigkeit der Wägungen in einem so hohen Grade, daſs dieser durch mechanische Kunstfertigkeit nie erreicht wird, und das angegebene Verfahren ist daher nicht bloſs erforderlich, um die Richtigkeit der Waage ursprünglich herzustellen, sondern auch späterhin, um eine durch den Gebrauch etwa entstandene Unrichtigkeit aufzufinden. Sollte sich eine solche wirklich zeigen, so wird sie durch den Ausschlag oder ein Herabsinken des einen Waagebalkens sichtbar, und man könnte für künftige Wägungen den so bestimmten Stand als den normalen betrachten, was jedoch nur annähernd und für verschiedene Belastungen nicht völlig genau wäre. Viele Künstler versehn daher das Ende des einen Hebelarmes (denn nur einer bedarf der Correction) mit einer Mikrometerschraube, um mittelst derselben den Aufhängepunct der dazu gehörigen Waagschale dem mittleren Unterstützungspuncte des Waagebalkens etwas zu nähern oder weiter davon zu entfernen. Hierbei wendet man mit Vortheil das Princip der *Hunter'schen Schraube* an[1], welches darauf beruht, daſs zugleich zwei Schrauben umgedreht werden, von denen die eine auf einen Zoll einen Gang mehr hat, als die andere, so daſs daher die wirkliche Fortrückung nur den Unterschied beider Schrauben beträgt und also höchst fein ist. Um die Momente beider Arme gleich zu

---

legt, denjenigen Scalentheil findet, auf welchem die ruhende Waage stillstehn würde.

1 Dove über Maaſs und Messen u. s. w. Berl. 1835. S. 157.

machen, ohne die Entfernungen der Aufhängepuncte von der Axe des Waagebalkens zu ändern, ist bei den in Wien verfertigten Waagebalken am einen Ende eine Schraube mit einem kleinen Gewichte angebracht, die sich tiefer in den Waagebalken einschrauben läſst[1]. Eine richtige Gewichtsbestimmung ist aber auch durch Anwendung der durch de Borda angegebenen *doppelten Wägung*, ohne Rücksicht auf die Richtigkeit der Waage an sich, möglich. Man bringt zu diesem Ende die Waage, welche auf der einen Seite durch den zu wägenden Körper nebst beliebigen sonstigen Gewichtstheilen, auf der andern aber durch das erforderliche Gegengewicht belastet ist, zum Gleichgewichte, nimmt dann den zu wägenden Körper weg und ersetzt ihn durch Gewichtstücke, die unter Voraussetzung ihrer Richtigkeit das Gewicht des Körpers genau angeben[2]. Hierdurch erreicht man zugleich den Vortheil, daſs die Waage jederzeit mit dem nämlichen Gewichte belastet ist.

Das zweite Erforderniſs einer guten Waage, zunächst jedoch nur der Krämerwaage und Schnellwaage, ist der *horizontale Stand des Waagebalkens.* Wollte man den Waagebalken bloſs als einen Hebel betrachten, so würde den Forderungen der Richtigkeit allerdings Genüge geschehn, wenn gleiche Lasten an den Enden beider Arme angebracht einen Stillstand hervorbrächten, auch würde ein solcher Hebel das Prädicat der Empfindlichkeit erhalten, was sogleich als drittes Erforderniſs aufgezählt werden wird, wenn die geringste Vermehrung des Gewichts in einer der beiden Waagschalen eine Bewegung zu erzeugen vermöchte, allein dann würde der Apparat nicht zum Wägen tauglich seyn. Wird der Waagebalken als bloſser Hebel betrachtet, so setzt dieses voraus, daſs die Angriffspuncte der Lasten an beiden Enden mit dem Unterstützungspuncte in eine gerade Linie fallen, woraus dann der eben erwähnte Zustand des Gleichgewichts in jeder beliebiger Lage von selbst folgt, zur Erlangung des horizontalen Standes muſs aber der Unterstützungspunct über derjenigen geraden Linie liegen, welche die beiden Angriffspuncte der Lasten verbindet, so daſs daher der gemeinschaftliche Schwerpunct der letztern unter

---

1 Baumgartner's Naturlehre. Supplem. S. 58.

2 Biot Traité de Phys. T. I. p. 15. Vergl. Edinburgh Journ. of Science N. IX. p. 120.

Fig. 1. den Unterstützungspunct fällt. Wären also die beiden Angriffspuncte der Lasten P und Q und läge der Unterstützungspunct über der sie verbindenden geraden Linie, so fiele der gemeinschaftliche Schwerpunct beider Lasten in S. Läge dann der Unterstützungspunct in C, so könnte der Zustand der Ruhe nur dann statt finden, wenn S in verticaler Linie unter C sich befände; denn bei vorhandener Beweglichkeit ruht ein Körper nur dann, wenn sein Schwerpunct den tiefsten Stand eingenommen hat. Kommt der Waagebalken in die geneigte Lage P′ Q′, so wird der gemeinschaftliche Schwerpunct nach S′ gehoben werden und mufs daher herabsinken, bis er seine tiefste Lage in S wieder eingenommen hat, also bis die horizontale Lage des Hebels wieder hergestellt ist. Hieraus ergeben sich daher die bekannten Folgerungen: 1) Liegen die beiden Angriffspuncte der Lasten beim gleicharmigen Hebel mit dem gemeinschaftlichen Unterstützungspuncte in einer geraden Linie, so würde derselbe bei gleicher Belastung in jeder Lage zur Ruhe kommen. Mit einem solchen wären allerdings Wägungen möglich, allein höchst unbequem, weil beim geringsten Uebergewicht an einer Seite der Hebel eine verticale Lage annehmen müfste, ja diese würde eine bleibende seyn, sofern entweder der eine oder der andere Hebelarm herabsinken müfste, weil absolut verschwindend kleine Gröfsen sich gar nicht darstellen lassen, vorausgesetzt dafs der Hebel vollkommen unbiegsam und keine Reibung bei ihm vorhanden wäre. 2) Liegt der Unterstützungspunct unter der geraden Linie, welche die beiden Angriffspuncte des Hebels vereinigt, so ist zwar eine horizontale Lage des Waagebalkens bei gleicher Belastung beider Arme unter der Bedingung theoretisch möglich, dafs der Schwerpunct mit dem Unterstützungspuncte in eine verticale Linie fällt, physisch aber würde dieses ebenso unmöglich seyn, als eine Kugel auf einer Nadelspitze zu balanciren, weil sich die erforderlichen Bedingungen in mathematischer Schärfe nicht erreichen lassen; denn bei dem geringsten Uebergewichte an einem Arme und beim geringsten Herausrücken des Schwerpunctes aus der genannten verticalen Linie würde der Schwerpunct herabsinken, der Waagebalken umschlagen und oscilliren, bis er zur Ruhe käme, sobald sich der gemeinschaftliche Schwerpunct in der verticalen Linie durch den Unterstützungspunct befindet. 3) Der horizontale Stand des Hebels ist also nur dann erreichbar,

wenn der gemeinschaftliche Schwerpunct sich unter dem Unterstützungspuncte befindet. Dieses gilt allgemein und ohne Rücksicht auf die Gröfse des Abstandes beider von einander, deren Bestimmung von anderweitigen Erfordernissen eines guten Waagebalkens abhängt.

Werden diese beim mathematischen Hebel gültigen Sätze auf den physischen, den Waagebalken, angewandt, so übersieht man bald, dafs sich in diesem zwei Schwerpuncte befinden, der eine, welcher durch das Gewicht des Waagebalkens, der andere, welcher durch die beiden Lasten an den Enden der Hebelarme gegeben ist. Es seyen die beiden Schwerpuncte der einzelnen Fig. 2. Hebelarme p und q, der gemeinschaftliche Schwerpunct beider s, die beiden Angriffspuncte der Lasten an den Enden der Hebelarme P und Q oder P′ und Q′ und ihre gemeinschaftlichen Schwerpuncte S oder S′, so kann die durch letztere gezogene gerade Linie entweder über oder unter der ersteren liegen oder mit ihr zusammenfallen. Wird dann ferner vorausgesetzt, dafs bei horizontaler Lage des Waagebalkens die Schwerpuncte s und S oder S′ in eine verticale Linie fallen, was bei vorzüglich guten Waagen mindestens insofern statt finden mufs, dafs keine mefsbare Abweichung hiervon vorhanden ist, so sind drei Fälle möglich, wonach S mit s zusammenfällt oder S unterhalb s oder S′ oberhalb s liegt. Im ersten Falle gilt alles das, was so eben über die horizontale Lage des Waagebalkens gesagt worden ist, in den beiden letzteren kommt nicht jeder einzelne Schwerpunct, sondern es kommt der Unterschied beider in Betrachtung. Ist zuerst der Waagebalken nicht belastet, also S oder S′ = 0, so gilt von s alles dasjenige, was in dieser Beziehung so eben vom mathematischen Hebel gesagt worden ist; wenn dagegen der Waagebalken belastet und S gröfser ist als s, so kann s über dem Unterstützungspuncte liegen, und dennoch wird der Waagebalken zur Ruhe kommen, wenn S unter dem Unterstützungspuncte liegt. Dieser Fall findet zuweilen statt, dafs nämlich der Waagebalken nach Wegnahme der Schalen entweder in jeder Lage ruht, oder gar umschlägt, nach angehängten Waagschalen aber sich horizontal einstellt, sofern S entweder mit einigem Uebergewichte unterhalb des Unterstützungspunctes liegt, oder durch eine unausbleibliche geringe Biegung des Waagebalkens darunter hinabgerückt wird. Der gewöhnliche Fall ist jedoch der, dafs S und s zusammenfallen, was auch

bei der oben erwähnten Prüfung der Richtigkeit angenommen wurde, daſs man nämlich versucht, ob sich der Waagebalken zuerst für sich allein und dann nach angehängten Schalen ins Gleichgewicht stellt; alle übrige Fälle des gegenseitigen Verhältnisses von s und S verstehn sich so leicht von selbst, daſs es überflüssig seyn würde, sie einzeln zu erörtern.

Der Waagebalken ruht in der Regel auf einer verticalen Säule, und diese trägt dann in ihrer Verlängerung einen getheilten Bogen, vor welchem die *Zunge* oder der Zeiger (*Index*, *Lingula;* aiguille, languette; *tongue of a balance*) sich nach beiden Seiten bewegt, aber auf 0 der Theilung zeigt, wenn der Zustand des Gleichgewichts vorhanden oder der horizontale Stand des Waagebalkens hergestellt ist. Diese Zunge ist lothrecht auf der Mitte des Waagebalkens befestigt, so daſs sie entweder in die Höhe steht oder herabhängt, oder die Zunge befindet sich in der verlängerten geometrischen Axe des Waagebalkens und ihre Spitze zeigt auf eine hinter ihr angebrachte getheilte Scale. Um beim Visiren die Parallaxe zu vermeiden, befindet sich bei den Pistor'schen Waagen hinter der Zungenspitze ein Spiegel und der horizontale Stand findet statt, wenn die Zunge ihr Bild im Spiegel deckt[1]. An manchen Waagen ist am Ende des einen Armes ein getheiltes Bogenstück angebracht, welches sich vor einem andern, dahinter befindlichen, Bogenstücke bewegt, und da die eine dieser Theilungen zugleich einen Nonius der andern abgiebt, so können hierdurch die feinsten Abweichungen gemessen werden. Soll aber der Waagebalken seinen horizontalen Stand richtig anzeigen, so muſs die ihn tragende Säule oder die an der Seite aufgerichtete, woran sich das getheilte Bogenstück befindet, vertical stehen, und damit dieses erreicht werde, muſs das Fuſsbret der Waage einen horizontalen Stand haben. Um diesen herzustellen, bedient man sich einer kleinen Röhrenlibelle und corrigirt vermittelst der im Fuſsbrete befindlichen Stellschrauben. Ist man vom horizontalen Stande des Waagebalkens sicher überzeugt, so kann dieser als Norm dienen, und das Fuſsbret oder das Gestell so lange vermittelst der Stellschrauben gerichtet werden, bis die Zunge auf 0 der Theilung einspielt.

Das dritte Erforderniſs einer guten Waage ist ihre *Em-*

1 Dove a. a. O. S. 157.

*pfindlichkeit*, auch wohl *Feinheit* genannt, die der *Trägheit* oder *Faulheit* derselben entgegensteht, wonach aber zugleich die Richtigkeit bemessen wird, indem diese nur bis so weit bestimmbar ist, als die Feinheit reicht. Die Feinheit einer Waage wird bestimmt durch die Gröfse desjenigen Gewichts, welches in eine der beiden Schalen gelegt den Zustand des Gleichgewichts aufhebt und das Niedersinken des einen Armes bewirkt. Die nachfolgenden Betrachtungen werden indefs zeigen, dafs eine Waage nothwendig um so viel träger werden mufs, je gröfsere Lasten zu wiegen sie bestimmt ist, und man mifst daher die Feinheit nach dem aliquoten Theile der ganzen Last, welche sie ohne Gefahr ihrer Beschädigung in jeder Schale[1] zu tragen vermag, und die man das *Totalgewicht*, so wie die Fähigkeit der Waage, so viel darauf zu wägen, ihre *Tragkraft* zu nennen pflegt, wodurch also ein sicheres Mafs dieser Bestimmung gegeben wird. Man mufs in der That bewundern, wie weit in dieser Beziehung die Kunstfertigkeit der neuern Zeit der der ältern vorausgeeilt ist[2]. So werden unter den durch ihre Feinheit ausgezeichneten Waagen, die ehemals vorzüglich in England verfertigt wurden, genannt: die von Bulton[3] $\frac{1}{70000}$, die von Reads[4] $\frac{1}{96000}$, von Whitehurst[5]

---

1 So viel ich weifs, gilt als Totalgewicht der Waage, wonach ihre Tragkraft bestimmt wird, diejenige Last, welche man auf derselben in einer Schale durch Gegengewichte in der andern zu wägen vermag; nach Tralles in G. XXIX. 446 wird hierdurch das Doppelte hiervon, also die ganze Last, womit die Krämerwaage beschwert ist, bezeichnet.

2 Vergl. Parkinson System of Mechanics p. 134. Verschiedene, als vorzüglich gut genannte, den jetzigen Forderungen jedoch nicht genügende Constructionen, als die von Lüdicke in G. I. 123, von Hauff in G. G. Schmidt's physikalischen Abhandlungen u. s. w. übergehe ich mit Stillschweigen. Die von Tralles angegebene, von Mendelssohn in G. XXIX. 123 beschriebene, verdient jedoch Berücksichtigung, zugleich aber insbesondere das, was Tralles in G. XXIX. 443 über den Bau der Krämerwaage überhaupt sagt. Dafs schon Aristoteles sich einer sehr empfindlichen Waage bedient habe, wird wohl nicht mit Unrecht aus den Resultaten seiner Wägungen der Luft geschlossen. S. G. XVI. 389.

3 Philos. Trans. T. LXVI. p. 50.

4 Ebend. p. 511.

5 Ebend. p. 576.

$\frac{1}{48000}$, von ALCHORNES[1] $\frac{1}{35000}$ des Totalgewichts angebend. Die ersten von damals ganz vorzüglicher Feinheit lieferte der berühmte RAMSDEN[2], namentlich eine für FORDYCE $\frac{1}{394000}$, noch vorzüglicher aber eine für die königl. Societät $\frac{1}{1000000}$ angebend, und zuletzt brachte er es bis $\frac{1}{10000000}$ der Tragkraft. Waagen von dieser letztern Feinheit liefern jetzt alle vorzügliche Künstler, die nämlich ein Kilogramm als gröſstes Totalgewicht zu tragen vermögen und dann bei einem Milligramm noch einen merkbaren Ausschlag geben, jedoch gehört eine solche allerdings schon zu den ausgezeichneten. Nach BAUMGARTNER[3] gab eine vorzügliche Waage von RAMSDEN mit 10 Pfund Belastung noch bei 0,006 Grain einen merkbaren Ausschlag, was eine Feinheit von $\frac{1}{12000000}$ giebt. FORTIN's Waagen geben mit 4 Pfund Belastung noch durch $\frac{1}{50}$ Gran einen Ausschlag, was $\frac{1}{1536000}$ giebt. FLORENZ in Wien verfertigt Waagen, die mit 4,5 Pfund belastet noch durch $\frac{1}{8}$ Richtpfennig einen Ausschlag geben, also von einer Feinheit $= \frac{1}{4418592}$. Von den beiden Waagen im physikalischen Cabinette zu Wien[4] hat die eine nur 1 Pfund Tragkraft und Feinheit $= \frac{1}{800000}$, die andere aber 3 Pfund Tragkraft und $\frac{1}{1200000}$ Feinheit. Eine von TROUGHTON für SHUCKBURGH verfertigte Waage gab mit 16384 Grains Belastung durch 0,01 Grain einen Ausschlag, hatte also $\frac{1}{1638400}$ Feinheit. Die von ROBINSON verfertigten Waagen haben bei 10,5 Zoll Länge des Waagebalkens 2000 Grains Tragkraft (Preis 14 Lstl.), bei 8 Zoll Länge 1000 Grains (Preis 11 Lstl.), bei 5,5 Zoll Länge 400 Grains (Preis 8 Lstl.) und geben mit 1000 Grains belastet bei 0,001 Grain einen Ausschlag, ihre Feinheit ist also $= \frac{1}{1000000}$. Dieser gleich ist die Feinheit der PISTOR'schen Waagen, indem sie mit einem Kilogramm belastet für ein Milligramm einen Ausschlag geben[5]. Die feine Waage in Prag, welche durch v. GERSTNER[6] geprüft wurde, hat nur 1 Pfund Tragkraft und giebt durch $\frac{1}{50}$ Gran einen Ausschlag, welches eine Empfind-

---

1 Philos. Trans. T. LXXVII. p. 205.

2 Ebend. T. LXXV. Journ. de Phys. T. XXXIII. p. 144.

3 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande. 5. Aufl. Wien 1836. S. 82.

4 BAUMGARTNER Supplementband. S. 59.

5 DOVE über Maſs und Messen. S. 163.

6 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 182.

lichkeit von $\frac{1}{768000}$ anzeigt. Ob übrigens diese Bestimmungen, die meistens auf den Angaben der Künstler selbst beruhn, volles Vertrauen verdienen, dürfte wohl noch fraglich seyn. Um hierüber zu entscheiden, müfste man sich des oben angegebenen Mittels bedienen und den Punct des Stillstandes bei so kleinen Uebergewichten aus den Oscillationsbogen finden. Unter allen hier mitgetheilten Bestimmungen kann wohl keine für absolut genau gelten, aufser die von v. Gerstner, welcher die Probe mit der erforderlichen Sorgfalt anstellte.

Die in der Natur der Sache liegenden Mittel zur Erlangung der gröfsten Feinheit bei den Waagen sind zuerst eine gröfsere Länge der Waagebalken; denn eine Kraft wirkt stärker auf einen längern Hebelarm, was jedoch im vorliegenden Falle von minderer Bedeutung ist, weil durch das Uebergewicht am einen längeren Arme der andere, gleich lange Arm bewegt werden mufs, wohl aber kann durch den gröfseren Radius des längeren Hebelarmes eine kleinere Abweichung vom horizontalen Stande besser gemessen werden, was auch durch eine längere Zunge auf gleiche Weise sicher erreicht wird. Ein zweites Mittel ist Leichtigkeit des Waagebalkens; denn da durch das Uebergewicht nicht blofs die Lasten, womit der Waagebalken beschwert ist, sondern auch die Masse des letztern selbst bewegt werden mufs, so wird dieses um so leichter geschehn, je weniger Gewicht der Waagebalken selbst hat, wodurch dann zugleich die Reibung vermindert wird. Der wirklichen Anwendung dieser beiden Mittel steht aber entgegen, dafs der Waagebalken sich nicht biegen darf, mindestens nicht in einem solchen Grade, dafs die gemeinschaftlichen Schwerpuncte s und S des Waagebalkens und der ihn beschwerenden Gewichte tiefer unter den Unterstützungspunct fallen, als bestimmt ist, weil hierdurch die Faulheit der Waage ausnehmend wächst.

Die wichtige Bedingung, den Waagebalken so leicht als möglich zu machen, ohne seiner Tragkraft Abbruch zu thun, hat man auf vielfache Weise zu erreichen gesucht. Allgemein bringt man dabei das Princip in Anwendung, dafs man denselben in der Mitte stärker macht und nach beiden Enden hin verjüngt zulaufen läfst, wie nicht minder, dafs man seine Höhe weit gröfser nimmt als seine Dicke, nach den hierüber bestehenden Gesetzen der Festigkeit der Körper[1]. Unter den ander-

1 Vergl. *Cohaesion.* Bd. II. S. 150.

weitig gewählten Mitteln, wonach die Construction der Waagebalken vielfach abgeändert ist, will ich blofs die wesentlichsten erwähnen. Eins der besten ist das von MAGELLAN[1], welcher zwei hohle abgekürzte Kegel mit ihren gröfseren Grundflächen vereinigte, weil die Tragkraft hohler Röhren weit stärker ist als die massiver Cylinder von gleicher Masse. RAMSDEN wählte für seine feinen Waagen diese nämliche Construction, MENDELSSOHN[2] aber änderte sie etwas ab, indem er in der Mitte zwischen beiden Kegeln einen hohlen Würfel anbrachte, und da die Metalldicke bei diesen Kegeln nur sehr gering ist, so versah TROUGHTON[3] sie im Innern mit Ringen. Bei den neuen, von ROBINSON verfertigten, Waagen besteht der 10 Zoll lange Waagebalken aus einem rhomboidalen Rahmen aus Glockenmetall. Einen sehr zweckmäfsigen Bau haben die aus der Fabrik von HAAS und HURTER in London gelieferten Waagebalken. Sie sind nur etwa 2 Lin. dick und bestehen aus einem Kreise, von welchem nach beiden Seiten Streben ausgehen, die durch zwei andere gebogene Streben gesteift sind und aus Glockenmetall verfertigt bei grofser Leichtigkeit dennoch eine hinlängliche Steifheit besitzen. Die Biegungen erfordern grofse Genauigkeit, wenn sie auf beiden Seiten einander vollkommen gleich seyn sollen; minder schwierig ist es daher, die Stäbe des rhomboidalen Rahmens gerade zu machen und durch Querstreben zu steifen, woraus dann eine andere, gleichfalls gebräuchliche, Form der Waagebalken hervorgeht, wie man sie in Wien zu verfertigen pflegt[4], wonach dieselben nur eine Strebe ungefähr in der Mitte jedes Armes haben, wie aus der Zeichnung leicht zu erkennen ist. KÖRNER's durchbrochene Waagebalken unterscheiden sich von diesen blofs dadurch, dafs sie in der Mitte, in ihrer Längenaxe, noch eine gerade schmale Stange haben. Mehrere ausgezeichnete Künstler verfertigen neuerdings die Waagebalken solid von Stahl, z. B. TROUGHTON, bei dessen späteren Waagen der Balken aus einer Stahlstange von ein Fufs Länge und ein Viertel Zoll Dicke besteht, dessen Höhe in der Mitte etwas

Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

---

1 Journ. de Phys. T. II. p. 252. T. XVII. p. 43.
2 G. XXIX. 153.
3 Philos. Trans. 1798. p. 182.
4 BAUMGARTNER's Naturlehre, Supplem. Bd. S. 58.

über einen Zoll, an den Enden nur einen halben Zoll beträgt. Es unterliegt keinem Zweifel, daſs ein solcher Balken sich auſserordentlich genau und an beiden Armen völlig gleich darstellen läſst, weswegen auch Jahn[1] und Fortin[2] diese gewählt haben. Inzwischen macht Studer[3] darauf aufmerksam, daſs solche Stahlstangen leicht magnetisch werden und nach Art der Inclinationsnadeln eine Neigung annehmen könnten. Die Thatsache, daſs die stählernen Waagebalken bleibend magnetisch werden und selbst die eisernen einer Einwirkung des tellurischen Magnetismus unterliegen, ist wohl nicht zu bezweifeln, ob dieses aber einen Einfluſs auf die feinsten Gewichtsbestimmungen haben könne, müſste erst durch die Erfahrung ausgemittelt werden. Auf jeden Fall ist die ablenkende Kraft sehr gering und es müſsten sich mehrere Bedingungen vereinigen, wenn ein Einfluſs merkbar werden sollte. Weiches oder reines Eisen ist bekanntlich nie bleibend magnetisch und nimmt bloſs im magnetischen Meridiane durch den tellurischen Magnetismus eine schwache Polarität an, die jedoch zur Erzeugung einer Inclination wohl zu schwach seyn möchte, auſserdem aber nehmen die Künstler solches Eisen nicht zu Waagebalken. Es kann daher nur von bleibendem Magnetismus die Rede seyn, welcher jedoch im weichen Stahle gleichfalls sehr schwach ist, auſserdem aber müſste der Nordpol des magnetischen Waagebalkens nach Norden oder lothrecht auf den magnetischen Meridian, also nicht nach Süden, gerichtet seyn, wenn seine Polarität auf die Wägungen einen Einfluſs haben sollte. Da hierüber beim Gebrauche so vieler Waagen keine Erfahrungen bemerkter Unrichtigkeiten bekannt geworden sind, so scheint der Einfluſs verschwindend zu seyn. Ritchie[4] schlägt vor, um feine Waagen für einen sehr geringen Preis zu erhalten, Waagebalken aus hölzernen, nach den Enden etwas verjüngten, Stäben zu verfertigen, diese in der Mitte durch eine Federmesserklinge auf untergelegten Glasröhren zu unterstützen, auf gleiche Weise solche Federmesserklingen an den Enden zum Tragen der Waagschalen anzubringen, und um die aus der Construction solcher Apparate entspringenden Unrich-

1 Berzelius Chemie.
2 Biot Traité de Physique. T. I. p. 9.
3 G. XIII. 122.
4 Edinburgh Journ. of Science. N. IX. p. 118.

tigkeiten zu corrigiren, DE BORDA's *Princip der doppelten Wägung* anzuwenden. Allein wenn gleich diese letztere Methode sehr sinnreich und in einzelnen Fällen mit Vortheil anzuwenden ist, so ist sie doch im Allgemeinen zu zeitraubend, und dafs hölzerne Waagebalken den jetzigen Forderungen im Ganzen nicht genügen, geht aus den bekannten Gesetzen über die Bedingungen guter Waagen sattsam hervor. Die sogenannten *Goldwaagen*, welche zum Wägen der Goldstücke dienen, und die *Probirwaagen*, womit der Gehalt der Erze in kleinen Quantitäten bestimmt wird, sind blofs für sehr geringe Lasten eingerichtet und haben daher nur kurze und leichte Balken sowohl als auch Waagschalen.

Die dritte Bedingung zur Erreichung einer möglichst grofsen Empfindlichkeit ist die *Entfernung der Reibung*. Wäre die Axe des Waagebalkens ein Cylinder und wälzte sich die-
Fig. ser in einer krummen Oeffnung, so müfste bei den Oscillatio-
8. nen des Waagebalkens der Punct 0 nach m und rückwärts durch 0 wieder nach n geschoben werden, was ohne Reibung nicht geschehn könnte. Die hieraus erwachsende Trägheit der Waagen zeigt sich dadurch, dafs sich die Zunge bei den Oscillationen nicht jederzeit wieder genau auf das 0 der Theilung einstellt, sondern abwechselnd rechts oder links davon abweicht, und dieses wird um so mehr statt finden, je gröfser die zu wägenden Lasten sind; denn die Gröfse der Reibung ist bekanntlich der Last direct proportional; dabei kommt noch die Lage des gemeinschaftlichen Schwerpunctes (S + s) in Betrachtung. Läge derselbe in der geometrischen Axe des Cylinders, welcher die Axe des Waagebalkens bildet, so würde letzterer bei vorhandenem Gleichgewichte in jeder Lage zur Ruhe kommen, läge er aber unter derselben, so müfste er bei jeder Bewegung gehoben werden und es käme zur Reibung noch die Ueberwindung dieser Last als ein Mittel zur Vermehrung der Trägheit hinzu, bei einer Lage oberhalb derselben müfste aber der Waagebalken, sofern die Reibung dieses nicht hindert, umschlagen. Hiervon wird später die Rede seyn; vorerst nehmen wir daher an, dafs der gemeinschaftliche Schwerpunct in die geometrische Axe des Cylinders falle, welchen die Axe des Waagebalkens bildet. Ist dann die Unterlage eine willkürliche
Fig. concave Fläche i0k, so mufs die verticale Linie durch den
9. Schwerpunct der Axe auf den tiefsten Punct 0 fallen, wenn

aus dem horizontalen Stande des Waagebalkens auf den Zustand des Gleichgewichts geschlossen werden und also eine genaue Wägung möglich seyn soll. Denn rückte die Axe nach c, so würde die Verticale g′ c durch ihren Schwerpunct nicht unterstützt seyn, der Unterstützungspunct fiele in f, die beiden Längen der Hebelarme wären nicht mehr ac = cb, sondern ad < db und es wäre daher eine gröfsere Last in a erforderlich, um den horizontalen Stand wieder herzustellen[1]. Ruhet die cylindrische Axe des Waagebalkens auf einer geraden Fläche, so fällt die Reibung insofern weg, als sie sich in eine wälzende verwandelt, und da der gemeinschaftliche Schwerpunct nicht in die geometrische Axe des Cylinders fallen darf, welcher die Axe des Waagebalkens bildet, weil sonst die Hebelarme beim Gleichgewichte in jeder Lage zur Ruhe kommen würden, so findet bei cylindrischen Axen auch in diesem Falle eine Verkürzung der Hebelarme statt. Angenommen es liege der gemeinschaftliche Schwerpunct der Linie ab so in O, dafs aO = Ob ist, der Waagebalken nehme dann die Lage de an, so fiele der Unterstützungspunct in i, der Waagebalken würde dann in der horizontalen Lage zur Ruhe kommen, zugleich aber ein verhältnifsmäfsig grofses Uebergewicht erforderlich seyn, um ihn aus dieser horizontalen Lage zu bringen, welches durch den Unterschied fm — fi gegeben ist, da fi kleiner ist als fm und also noch kleiner als in. Fig. 10.

Hieraus ergiebt sich, dafs die Unterlage eine gerade Ebene seyn oder dieser möglichst nahe kommen mufs; denn eine convexe, von gleichem Krümmungshalbmesser, als die Axe, würde zwar diese Hindernisse insgesammt gänzlich aufheben, allein dann würde die Axe herabgleiten, abgerechnet, dafs die Bedingung des horizontalen Standes gleichfalls wegfiele. Die Axe dagegen, als Cylinder gedacht, wird am vortheilhaftesten verschwindend dünn seyn, denn die Gröfse im ist dem Halbmesser des Cylinders direct proportional. Da aber die Axe zugleich eine angemessene Tragkraft haben mufs, so kann diese Bedingung nicht anders als durch die sogenannte *Messerschneide* erreicht werden, deren untere Schärfe als ein Theil der Oberfläche eines Cylinders von verschwindend kleinem Halbmesser

1 Eine Berechnung des jederzeit erforderlichen Uebergewichtes findet man in v. Gerstner's Handbuche. Th. I. S. 176.

nach LAPLACE[1] zu betrachten ist. Die Reibung mufs daher um so mehr verschwinden, je feiner die Schneide ist; allein damit wird zugleich ihre Haltbarkeit bedeutend vermindert, und man macht aus diesem Grunde den Winkel, welchen die beiden ebenen Flächen der Messerschneide mit einander bilden, desto kleiner, je geringer die Tragkraft seyn soll. Bei sehr grofsen Waagen beträgt dieser Winkel nicht viel weniger, als 90 Grad, bei mittleren gewöhnlich 60°, bei feinen wird er bis 30° und wohl noch weniger verringert, und dabei besteht diese Axe aus gehärtetem Stahle. Zugleich versteht sich von selbst, dafs die Schneide eine gerade Linie bilden müsse, was mit einer zweiten Bedingung zusammenfällt, wonach die geometrische Axe dieser Axe der Waage mit der geometrischen Axe des Waagebalkens zwei rechte Winkel bilden müsse. Die Nothwendigkeit dieses Erfordernisses läfst sich leicht nachweisen. Wäre
Fig. 11. nämlich ab die Axe des Waagebalkens und cd die mit dieser rechtwinkelige Schneide, so bliebe die Länge der beiden Arme bei jeder Drehung in der verticalen Ebene durch ab stets dieselbe; hätte aber diese Schneide die Lage ef, so würde bei der genannten Drehung die wechselnde Unterstützung innerhalb der Ebene gefh fallen, und dadurch könnte nicht sowohl eine Ungleichheit beider Hebelarme entstehn, als vielmehr die Bewegung des Waagebalkens von der verticalen, durch seine Axe im Zustande des Gleichgewichts gelegten Ebene abweichen müfste. Inzwischen werden geübte Künstler schon Sorge tragen, der Axe der Messerschneide eine solche perpendiculäre Richtung auf die Axe des Waagebalkens zu geben, dafs aus der Abweichung kein merklicher Fehler erwachsen kann. Aufserdem müssen die Axen der beiden Messerschneiden an den Enden des Waagebalkens zu der ihn tragenden mittleren parallel seyn, eine Bedingung, die man gewöhnlich als erfüllt voraussetzt und die daher nicht besonders erwähnt zu werden pflegt. Neuerdings aber hat GAUSS[2] diesen Gegenstand genauer erörtert und zugleich eine vortreffliche Methode zur Prüfung und Berichtigung dieses Fehlers angegeben. Weil nämlich die Tragstücke, an denen die Waagschalen hängen und welche auf den äufseren Messerschneiden ruhen, beim Anhalten des

---

1 S. Art. *Pendel.* Bd. VII. S. 340.

2 Gött. gel. Anzeigen. 1837. S. 401.

Waagebalkens meistens abgehoben werden, so legen sie sich beim wiederkehrenden Spiele des Waagebalkens nicht stets wieder genau ebenso auf die Messerschneiden, als vorher, was bei vollkommenem Parallelismus derselben mit der mittleren unschädlich ist, bei nicht vollkommenem aber ein verändertes Moment erzeugt. Im ersteren Falle bewegen sich die äufseren Messerschneiden beim Oscilliren des Waagebalkens auf einer Cylinderfläche, im letzteren aber auf einer Kegelfläche, und das divergirende Ende derselben mufs daher beim Steigen des Hebelarmes steigen, beim Sinken desselben sinken, während für das convergirende das entgegengesetzte Verhalten statt findet. Zur Prüfung und Berichtigung dieses Fehlers wendet Gauss einen kleinen Planspiegel an, den man vertical auf das Tragstück aufstellt, am besten so, dafs seine Ebene zu der Schneide nahe senkrecht ist. Indem aber im Falle des völligen Parallelismus der Schneide des Tragstückes mit der mittleren die Ebene des Spiegels beim Spiele des Waagebalkens sich selbst parallel bleibt, so wird auch das Bild eines in schicklicher Entfernung vom Spiegel befindlichen Gegenstandes unverrückt bleiben, für ein divergirendes Ende der äufseren Messerschneide aber beim Steigen und Sinken des Waagebalkens gleichfalls steigen und sinken, wonach also die Correction geschehn kann.

V. Gerstner erwähnt, dafs man statt der Messerschneide auch blofs zwei Spitzen in Anwendung zu bringen pflege, die von gehärtetem Stahl seyn und den nämlichen Winkel haben müfsten, als die Messerschneiden. Sehr gebräuchlich ist diese Einrichtung sicher nicht, indefs hat Mohr[1] dieselbe als bei weitem die vorzüglichste empfohlen, ohne jedoch die Richtigkeit dieser Ansicht durch die Erfahrung darzuthun. Es scheint allerdings, als ob auf diese Weise eine vorzügliche Empfindlichkeit erreichbar sey, jedoch ist auffallend, dafs die Künstler diese leichte Methode gar nicht oder gewifs höchst selten gewählt haben, da keine der vielen bekannten, sehr empfindlichen, Waagen so construirt wurde, und es ist daher möglich, dafs bei der wirklichen Ausführung und dem Gebrauche sich unerwartete Schwierigkeiten zeigen, auch erinnere ich mich einmal gehört zu haben, dafs jemand sogar Spitzen von Edelstein wählte, um die Reibung noch mehr zu vermeiden, was jedoch

---

1 Poggendorff's Ann. XXV. 264.

den erwünschten Erfolg nicht hatte. Möglich bleibt es also immer, daſs die feinen, wenn auch in einen Winkel zwischen 30 bis 60 Grad zugeschärften, Spitzen sich theils abnutzen, theils etwas in die Unterlage, ungeachtet deren Härte, eindrücken oder einschleifen und dadurch den beabsichtigten Zweck verfehlen. Dieses ist um so wahrscheinlicher, da Tralles[1] versichert, daſs in einem kleinen Winkel zugeschärfte Messerschneiden, wenn sie auf Cylindern von Achat ruheten, sich nach einigem Gebrauche unter dem Mikroskope ausgebröckelt zeigten, weswegen dieser genaue Physiker auch ebene Achatplatten zur Unterlage verlangt, damit die Messerschneiden in mehreren Puncten aufliegen.

Die Reibung muſs nicht bloſs durch die angegebene Einrichtung der Axe des Waagebalkens, sondern auch durch die der Unterlage vermindert werden. Ehemals ruhete die zur Messerschneide geschärfte Tragaxe des Waagebalkens in den Fig. 12. Löchern oder Pfannen der sogenannten *Scheere* (*trutina; châsse; cheeks*), die verhältniſsmäſsig sehr weit und zuweilen auch unten bei 0 mit eingelegten schmalen, ebenen und glasharten Stahlplatten versehen waren, die Scheere selbst aber wurde an ihrem obern Ende vermittelst eines Ringes an einem Haken aufgehangen und trug somit die ganze Waage sammt der Last. In der neueren Zeit haben die Künstler vorgezogen, die Fig. 13. Messerschneide auf zwei Unterlagen ab ruhen zu lassen, die auf zwei Säulen befestigt sind oder die obern Enden einer auf einer einzelnen Säule befestigten oder auch beweglichen Gabel bilden, statt der Zunge aber am Ende des einen Armes eine Spitze anzubringen, die an einer seitwärts befestigten Scale den Zustand des Gleichgewichts und die Abweichungen von demselben (den Ausschlag) angiebt. Die Unterlagen sind wenig concav oder bei ganz feinen Waagen eben, zuweilen halbcylinderförmig oder gar zur Messerschneide zugeschärft, so daſs die Berührung beider Schneiden, dieser und der der Axe, nur in einem Puncte statt findet, und bestehen entweder aus glashartem, fein polirtem Stahl, oder besser aus Achat; weil sich aber die härteste Messerschneide durch langen Gebrauch abnutzen würde, wenn sie fortwährend auf der fein polirten Unterlage mit ihrer ganzen Last ruhete, so hat man verschiedene Vor-

---

1 G. XXIX. 443.

richtungen angebracht, um im Zustande der Ruhe die Waage zu tragen. Hierdurch wird zugleich ein anderer Zweck erreicht, es werden nämlich die zu groſsen und dann zu lange dauernden Schwingungen vermieden und somit die Zeitdauer der Wägungen bedeutend abgekürzt; denn je empfindlicher die Waage ist, um so schwieriger findet man das richtige Gewicht, mit welchem sie sich auf 0 der Theilung einstellt. Bei einigen Waagen ist daher der Mechanismus so eingerichtet, daſs vor dem Einstellen zur gröſsten Feinheit das Gewicht annähernd bestimmt wird und dann zuletzt erst die schärfste Bestimmung eintritt. Die für diese Zwecke in Anwendung gebrachten Vorrichtungen sind zuerst die jetzt weniger gebräuchlichen Gabeln unter dem Waagebalken, auf welche derselbe herabsinkt und unbeweglich ruhet, während die Unterlagen der Messerschneide herabgelassen sind, oder zwei Einschnitte von einem kleineren Winkel, als der der Messerschneide, in welche die letztere mit ihren äuſsersten Enden sich einlegt, ohne daſs die Schärfe der Messerschneide selbst eine Unterlage berührt. Eine zweite sehr gewöhnliche Vorrichtung besteht darin, daſs die Messerschneide auf einer weicheren Unterlage von Messing ruhet, und wenn damit das Gleichgewicht annähernd hergestellt ist, eine härtere von Stahl in die Höhe gerückt wird, um zu einer schärferen Bestimmung zu gelangen, womit bei manchen Waagen noch eine dritte, vorzüglich gut polirte und sehr harte Unterlage von Achat verbunden ist, die zuletzt unter die Messerschneide gehoben die schärfsten Bestimmungen gestattet. Die verschiedenen Mechanismen, wodurch diese Hebungen der Unterlage bewerkstelligt werden, ausführlich zu beschreiben scheint mir überflüssig, da jeder Künstler die den jedesmaligen Waagen angemessensten zu wählen pflegt[1], und ich bemerke nur noch, daſs eben diese dazu dienen können, um die Schwankungen des Waagebalkens aufzuheben, diesen zu arretiren und dann wieder frei spielen zu lassen. Für diesen Zweck pflegt man auch auf dem Fuſsbrete der Waagen kleine Tischchen anzubringen, auf denen die Waagschalen ruhen und die man niederdrückt, damit die Oscillationen beginnen können, wobei man sogleich wahrnimmt, ob die zuerst

1 Eine feine Vorrichtung beschreibt Prony in Ann. de Chim. T. XXXVI. p. 50.

niedersinkende Waagschale noch ein merkliches Uebergewicht hat, was dann durch Wegnehmen angemessener Gewichte oder Zulegen derselben in die andere Waagschale compensirt werden kann.

Die nämlichen Gründe, welche die Reibung der Axe zu vermeiden gebieten, machen dieses auch bei der Aufhängung der Waagschalen nothwendig, und man wendet zur Erreichung dieses Zweckes ähnliche Mittel an. Gewöhnlich hängt der verhältnifsmäfsig weite Ring, woran die Waagschaale befestigt und welcher inwendig zugeschärft wird, über einer Messerschneide von 30 bis 60 Grad Zuschärfung, die am Ende des Waagebalkens auf dessen Längenaxe rechtwinklig, also mit der Tragaxe parallel laufend, angebracht ist. Bei einigen Waagen befindet sich an den Enden des Waagebalkens eine mit der Längenaxe des letzteren parallele, nach oben gekehrte Messerschneide, auf welcher nach Schaffrinski ein stählerner Halbcylinder so ruhet, dafs beide sich nur in einem Puncte berühren, Cavendish aber zieht eine Achatplatte dem Stahlcylinder vor. Dafs die eine dieser Messerschneiden durch eine Mikrometerschraube etwas verrückt werden könne, um die Länge der Hebelarme dadurch zu reguliren, ist bereits oben bemerkt worden.

Ein auf jeden Fall beachtenswerthes Mittel zur Verminderung der Reibung überhaupt und insbesondere bei zunehmenden Lasten hat Herapath[1] in Vorschlag gebracht. Sein Waagebalken, welcher nach der Zeichnung aus einem blofsen Stabe besteht, hat die Schneide der ihn tragenden Axe nach oben gerichtet und hängt an einem Hufeisenmagnete von hinlänglicher Tragkraft, dessen Schenkelenden abgerundet sind, um von der Schneide nur in einer feinen Linie berührt zu werden; zugleich aber wird gerathen, zwei Ringe so anzubringen, dafs der Waagebalken durch sie gehalten würde, wenn er durch zu grofse Belastung herabfiele. Zur Unterstützung der Waagschalen dienen feine aufstehende Stahlspitzen, und man gewahrt an den Enden zugleich die Mikrometerschrauben, welche die Länge und den Schwerpunct des Waagebalkens zu corrigiren dienen. Da sich alles Uebrige leicht von selbst versteht, so bemerke ich nur, dafs die Reibung hierdurch nicht mehr aufgehoben wird, als durch die Mittel, die man für diesen Zweck bei den

Fig. 14.

1 New Annals of Philos. T. II. p. 291.

Krämerwaagen in Anwendung zu bringen pflegt; denn es ist gleichgültig, ob das Gewicht die Messerschneide gegen die Unterlagen von Stahl herabdrückt, oder die magnetische Kraft sie aufwärts gegen die Schenkel des Hufeisens zieht, wobei die letztere stets stärker seyn mufs, als die erstere, weil sonst der Balken herabfallen würde, und die Schenkel des Magnets geben aufserdem nur polirten Stahl, welcher den Achatplatten auf jeden Fall nachsteht. Richtig ist allerdings, dafs die Reibung mit wachsenden Lasten abnimmt, allein dennoch ist dieses nur täuschend, denn auch bei den schwersten Lasten ist sie stärker, als die gemeine Krämerwaage sie giebt, und gerade bei der geringsten Beschwerung, wobei sie nach diesem Vorschlage am stärksten ist, verlangt man die gröfste Feinheit. Ein Vortheil liegt allerdings darin, dafs das einen sehr feinen Cylinder bildende Ende der Messerschneide die gröfseren Cylinder der Schenkel des Magnets berührt und beide sich auf einander wälzen, allein dieser kann die übrigen Nachtheile nicht aufwiegen, wozu unter andern auch die nicht stets unveränderliche Tragkraft der Magnete gehört.

Ein sehr zu beachtender, von W. Weber[1] bekannt gemachter Vorschlag ist auf das durch Bessel[2] angegebene, von Repsold ausgeführte Princip der Abwickelung eines biegsamen Fadens von einem Cylinder gegründet. Der Waagebalken besteht hiernach aus einem Kreuze mit vier feinen abgerundeten Enden oder mit Cylindern, um welche die den Balken und die Waagschalen tragenden Fäden gewickelt sind. Für sehr feine Waagen können die Cylinder aus Nähnadeln und die Fäden aus ungezwirnter Seide, sogenannter Knopfmacherseide, bestehen, die noch biegsamer ist, als die vorgeschlagenen Coconfäden.

Die wesentlichste Bedingung der Feinheit einer Waage wird durch die Lage der Schwerpuncte und des Unterstützungspunctes gegeben, und da hierbei zugleich der sogenannte *Ausschlag* in Betrachtung kommt, so ist diese Untersuchung in Beziehung auf die Theorie der Waage bei weitem die wichtigste. Wird der Waagebalken als ein zweiarmiger Hebel betrachtet, so gilt dafür die Voraussetzung, dafs die Schwerpuncte

---

1 Gött. gel. Anzeigen. 1837. S. 215.
2 Vergl. Art. *Pendel.* Bd. VII. S. 340.

der Lasten und Hebelarme, also P und P', p und p' in einer geraden Linie liegen, welches auch für gut gearbeitete Waagebalken so weit als richtig vorausgesetzt wird, als die Kunst dieses erreichen kann; man nimmt die Abweichung hiervon für verschwindend an. Liegt dann der gemeinschaftliche Schwerpunct S dieser zwei Paare von Schwerpuncten mit dem Unterstützungspuncte gleichfalls in der nämlichen geraden Linie, so würde bei Abwesenheit aller Reibung und bei vorhandenem Gleichgewichte der Waagebalken in jeder Lage ruhen, durch die geringste Vermehrung der Last aber die verticale Richtung annehmen, und da ein verschwindend kleines Gewicht physisch nicht darstellbar ist, so würden Wägungen mit einer solchen Waage nicht blofs schwierig, sondern eigentlich unmöglich seyn. Läge der Unterstützungspunct unter jener geraden Linie, so würde der Waagebalken bei der geringsten Bewegung umschlagen und der gemeinschaftliche Schwerpunct unter den Unterstützungspunct herabsinken, wie hier nur kurz wiederholt werden möge; der gemeinschaftliche Schwerpunct mufs also um ein Weniges unter dem Unterstützungspuncte liegen, und es fragt sich also, wie die Feinheit der Waage mit dieser Lage und den Gröfsen dieser Schwerpuncte im Verhältnifs stehe.
Fig. 15. Es sey zu diesem Ende PQ der mit den gleichen Gewichten P und Q belastete und dadurch in den Zustand des Gleichgewichts gebrachte Waagebalken, dessen eigenes Gewicht = W heifsen möge; es werde dann die Last P um die Gröfse p vermehrt, und dadurch erhalte der Waagebalken die Lage P'Q'. Ferner sey C der Unterstützungspunct, S der gemeinschaftliche Schwerpunct der Lasten und des eigenen Gewichtes des Waagebalkens, welcher also durch das Zulegen von p nach S' gehoben wird und den Ausschlagwinkel SCS' giebt. Es heifse dann:

$$PCH = a;\ PH = f;\ CH = g;\ CS = h \text{ und } SCS' = \varphi,$$

so ist wegen Aehnlichkeit der Dreiecke:

$$P'F = P'C \operatorname{Sin.}(a - \varphi) = P'C\,(\operatorname{Sin.} a \operatorname{Cos.}\varphi - \operatorname{Cos.} a \operatorname{Sin.}\varphi)$$
$$= f.\operatorname{Cos.}\varphi - g.\operatorname{Sin.}\varphi,$$
$$Q'G = Q'C \operatorname{Sin.}(a + \varphi) = QC\,(\operatorname{Sin.} a \operatorname{Cos.}\varphi + \operatorname{Cos.} a \operatorname{Sin.}\varphi)$$
$$= f.\operatorname{Cos.}\varphi + g.\operatorname{Sin.}\varphi,$$
$$S'K = CS' \operatorname{Sin.}\varphi = h \operatorname{Sin.}\varphi.$$

Nach den Gesetzen des Gleichgewichts ist aber

$$(P + p)\,P'F = P \times QG + Q \times S'K,$$

wofür die eben gefundenen Werthe substituirt geben:

$$(P+p)(f.\mathrm{Cos}.\varphi - g\,\mathrm{Sin}.\varphi) = P\,(f.\mathrm{Cos}.\varphi + g\,\mathrm{Sin}.\varphi) + Q\,h\,\mathrm{Sin}.\varphi.$$

Dieses gerechnet giebt

$$\mathrm{Tang}.\ \varphi = \frac{pf}{(2P+p)\,g + Qh}.$$

Die Tangente des Ausschlagwinkels ist also dem Zulegegewichte und der Länge des Hebelarmes direct proportional, steht aber im umgekehrten Verhältnisse der Belastungen und des eigenen Gewichtes des Waagebalkens. Wollte man das Zulegegewicht (den sogenannten Ausschlag beim Handel) gegen die gesammte Belastung, also p gegen 2 P als verschwindend betrachten, so würde man, da g constant ist, für einen gleichen Ausschlagwinkel ein den gewogenen Lasten proportionales Zulegegewicht erhalten, da Q stets gleich bleibt. Für $g = 0$ ist

$$\mathrm{Tang}.\ \varphi = \frac{pf}{Qh},$$

also von der Belastung unabhängig, d. h. wenn die Aufhängepuncte der Lasten mit dem Unterstützungspuncte in eine gerade Linie fallen; ist aber sowohl g als auch $h = 0$, oder wenn die Schwerpuncte der Lasten und des Waagebalkens mit dem Unterstützungspuncte in einer geraden Ebene liegen, so ist für jedes p, also für das geringste Zulegegewicht die Tangente des Ausschlagwinkels unendlich, sie gehört einem rechten Winkel zu, oder der Waagebalken stellt sich vertical.

Um daher einer Waage die erforderliche Feinheit zu geben, ist vor allen Dingen erforderlich, dafs der Waagebalken sich nicht biege, mindestens nicht merklich, denn eine geringe, wenn auch unmefsbar kleine, Biegung ist bekanntlich deswegen unvermeidlich, weil jeder Körper einige Elasticität hat; allein die Biegung darf auf jeden Fall nicht merklich seyn, weil sonst der gemeinschaftliche Schwerpunct der Lasten und auch der des Waagebalkens tiefer unter den Unterstützungspunct herabsinkt, also g und h gröfser werden. Da aber die Schwerpuncte der Lasten und des Waagebalkens unter dem Unterstüzungspuncte liegen müssen, damit der Waagebalken sich in horizontaler Lage bei vorhandenem Gleichgewichte einstelle, so darf der Abstand beider nur gering seyn, und es ist also die Feinheit der Waage der Kleinheit dieses Abstandes, der Leichtigkeit des Waagebalkens und seiner Länge, der Kleinheit der darauf gewogenen Lasten und der Verminderung der Reibung propor-

tional. Sofern es sich hier zunächst nur um die Lage des Schwerpunctes und des Unterstützungspunctes handelt, sucht man diese möglichst genau in die nämliche gerade Ebene oder Linie zu bringen. Um in dieser Beziehung feine Correctionen möglich zu machen, pflegen manche Künstler in einer verticalen Ebene über oder unter dem Unterstützungspuncte ein Gewicht mit einer Mikrometerschraube anzubringen, welches dem Unterstützungspuncte mehr genähert oder weiter davon entfernt werden kann, um dadurch die Lage des Schwerpunctes zu reguliren. Ebendieses geschieht auch dadurch, daſs die Unterlage des Hakens, woran die Waagschale hängt, am einen Hebelarme mittelst Mikrometerschrauben etwas mehr gehoben oder tiefer herabgesenkt wird, und so wie am einen Hebelarm die Correction für die Länge der Hebelarme angebracht wird, befindet sich am andern die Correction für die Lage des Schwerpunctes. Bei der Bestimmung des den Ausschlag bewirkenden Zulegegewichts ist auf die Reibung keine Rücksicht genommen, welche den Ausschlagwinkel kleiner machen muſs. Da die Reibung den Lasten proportional ist, so läſst sich auch diese berechnen[1]. Behalten P, Q und f die angegebene Bedeutung, heiſst m der Reibungscoefficient, r der Abstand der auf der Unterlage ruhenden Messerschneide vom Mittelpuncte der Drehung und p′ das Gewicht, welches die Reibung überwindet, so ist

$$m(2P+Q+p')r = fp',$$

und hieraus wird

$$p' = (2P+Q)\frac{rm}{f-rm}$$

gefunden. Man nimmt m = 0,1 an, allein da bei den feinen Waagen die Reibung eine wälzende ist und die Flächen der Messerschneide nebst ihrer Unterlage fein polirt sind, so ist jener Werth sicher noch bedeutend zu groſs.

Liegt der Schwerpunct der belasteten oder unbelasteten Waage unter dem Unterstützungspuncte, so wird ersterer gehoben, wenn einer der Hebelarme herabsinkt, er wird aber, wenn die herabdrückende Kraft nachläſst, wieder zur tiefsten Lage herabsinken und somit eine pendelartige Schwingung erhalten, die er zugleich den Hebelarmen mittheilt, die dann

---

1 Baumgartner Supplementb. S. 48.

gleichfalls pendelartig oscilliren. Weil aber die kleine Oscillation des Schwerpunctes die langen Hebelarme in Bewegung setzen mufs, so gleicht die Waage einem sehr langen Pendel, wobei die Oscillationszeiten um so gröfser sind, je kleiner der Abstand des Schwerpunctes vom Unterstützungspuncte im Verhältnifs zur Länge der Hebelarme ist. Empfindliche Waagen oscilliren also sehr langsam, und hierin liegt ein Hauptgrund der Schwierigkeit und langen Zeitdauer bei feinen Wägungen; auch oscilliren die Waagen langsamer, wenn sie mit Gewichten beladen sind, als ohne Schalen und Lasten[1].

Die Scalen, auf denen die aufwärts oder herabwärts stehenden oder am Ende des Waagebalkens angebrachten Zungen den Ausschlag angeben, sind in gewisse Theile getheilt. Wird der auf 0 dieser Scale im Gleichgewichte stehende Waagebalken durch ein bekanntes Uebergewicht bis auf einen oder etliche Theile der Scalen herabgedrückt, so kann man hieraus den Werth einer Abtheilung oder das Gewichtstheilchen finden, welches den Abtheilungen der Scale zugehört, und da für kleine Winkel diese den Tangenten gleich gesetzt werden können, so kann man beim Wägen das richtige Gewicht bestimmen, ohne dafs die Waage im Gleichgewichte steht, auch selbst in dem Falle, wenn die einzelnen Scalentheile kleineren Gewichten zugehören, als womit man versehn ist. Um dieses genauer zu ermitteln, sey man zuvor überzeugt, dafs bei gleicher Belastung die geometrische Axe des Waagebalkens sich in der horizontalen Lage ab einstellen würde. Stellt sie sich dann bei aufgelegten Gewichten in der geneigten Lage P'P ein, so ist $P' = P + p$, oder die Waage wird durch das Uebergewicht p um einen gewissen Theil der Scale herabgedrückt. Legt man in die andere Scale dann ein bekanntes Gewichtstheilchen p', und sinkt dieselbe in die entgegengesetzte Lage herab, so dafs der Waagebalken in der Neigung P' (P + p') zur Ruhe kommt, so ist die Summe der Gewichte im ersten Falle $P' + P = 2P + p$, im zweiten Falle $P' + P + p' = 2P + p + p'$. Nennen wir die beiden Winkel $\varphi$ und $\varphi'$ und substituiren wir diese in die oben für den Ausschlag gefundene Formel, so ist Fig. 16.

$$\text{Tang.}\ \varphi = \frac{pf}{(2P + p)g + Qh}$$

1 Vergl. Gerstner a. a. O. Bd. I. S. 178.

und
$$\text{Tang.}\,\varphi' = \frac{(p'-p)f}{(2P+p+p')g+Qh}.$$

Wegen des unbedeutenden Unterschiedes können beide Nenner füglich einander gleich gesetzt werden, und man erhält dann, wenn man die Tangenten den Winkeln proportional setzt und statt dieser die Scalentheile m und n einführt,

$$m:n = p:p' - p$$

oder das erste und zweite Glied addirt

$$m+n:m = p':p, \text{ also } p = \frac{p'm}{m+n},$$

also auch

$$P' = P + p = P + \frac{m}{m+n}p',$$

wodurch das den beobachteten Scalentheilen zugehörige Gewicht p bekannt wird, oder dieses letztere selbst, wenn man sich nicht im Besitze eines solchen (z. B. wegen seiner Kleinheit) befindet.

Es dürfte schwer seyn, zu bestimmen, welche Form der verschiedenen, von neuern Künstlern verfertigten, Waagen den Vorzug verdient, und welche daher geeignet wäre, hier zum Beschlufs der Untersuchung beschrieben zu werden. Es möge daher hierzu die von Ramsden verfertigte gewählt werden, wie Thom. Young[1] sie beschreibt, weil dieser Künstler zuerst diesen Apparaten die erforderliche Genauigkeit und Feinheit gab. Ihre Construction ist aus der Zeichnung genügend ersichtlich und bedarf daher keiner ausführlichen Beschreibung. Fig. 17.

## b) Schnellwaage.

Die sogenannte Schnellwaage, auch römische genannt (*Statera romana;* Balance romaine; *Steelyard*, *Stilyard*), beruht auf dem Principe des Hebels mit ungleich langen Armen. Wallis[2] leitet mit Pocock den Namen aus dem Oriente her, wo diese Art Waage frühe bekannt war, und da das am längern Hebelarme hängende Gewicht die Gestalt eines Granatapfels (arab. *Romman;* hebr. *Rimmon*) hatte, so soll sie hiernach noch jetzt dort *Rommana* heifsen. Den Namen Schnell-

1 Lectures on Nat. Philos. Lond. 1806. 2 T. 4. T. I. p. 126.
2 Mechanica. In Opp. T. I. p. 642.

waage hat sie daher, weil man in der That durch das Verschieben des Gewichtes schneller wägen kann; auch gewährt sie bei grofsen Lasten den Vortheil, dafs man nicht gezwungen ist, so viele Gewichtstücke aufzulegen, als die zu wägende Last beträgt, wobei aufserdem der tragende Haken nur die Summe des Gewichts der Waage, der daran hängenden Last und des Laufgewichts, mithin weniger, als bei der Krämerwaage zu tragen hat, gleiches Gewicht und gleiche Belastung beider vorausgesetzt.

Die gewöhnlichen Schnellwaagen sind so eingerichtet, dafs sie zugleich zum Abwägen gröfserer und kleinerer Lasten dienen. Zu diesem Ende haben sie zwei ungleiche Abtheilungen des Waagebalkens, indem sie für geringere Lasten am Haken c Fig. aufgehangen werden, wobei das Verhältnifs der Längen a c zu 18. c g statt findet, nach Umkehrung aber am Haken c′ mit dem Verhältnifs a c′ zu c′ g; der aus einer flachen Stange bestehende Balken ist dann auf beiden Seiten zugeschärft und die Schärfe mit Einkerbungen versehn, in welche der gleichfalls zugeschärfte Haken mit dem Laufgewichte P eingehängt wird, bis das Gleichgewicht hergestellt worden ist und die auf der zugehörigen Seite eingeschlagene Zahl das gefundene Gewicht angiebt. Durch das zwar nicht nothwendige, aber im Ganzen nicht ausbleibende Verschieben des scharfen Hakens auf der gleichfalls scharfen Kante des Waagebalkens werden beide, insbesondere der letztere, bald merklich abgenutzt, und es ist daher besser, dem Waagebalken die Gestalt eines, wenn auch gegen das Ende hin etwas verjüngten, Parallelepipedums zu geben und über diesen eine Hülle zu schieben, an welcher in beiden Lagen das Laufgewicht vermittelst eines Hakens in einem Oehre aufgehangen wird, wobei man nach Herstellung des Gleichgewichts die Zahlen auf der Seite des Waagebalkens durch einen Schlitz in der Mitte des Schiebers ablieset. Den Werth dieser Zahlen aus den Längen der beiden Hebelarme, aus dem Gewichte des Waagebalkens, des Laufgewichtes und der Waagschale durch Rechnung zu finden wäre zwar nicht schwer, würde aber auf jeden Fall sehr genaue Messungen dieser Gröfsen erfordern, und es ist daher sowohl leichter als auch sicherer, sie empirisch zu finden, wobei es nur einiger genauer Bestimmungen bedarf, um die dazwischenliegenden mit genügender Schärfe zu interpoliren. Zur Erreichung der erforderli-

chen Empfindlichkeit werden übrigens die Regeln in Anwendung gebracht, welche so eben für die Krämerwaage angegeben worden sind. Da sich indefs die Gewichte in kleinere Theile zerfällen lassen, als die Längen der Hebelarme, so ist mit der Schnellwaage keine so grofse Feinheit zu erlangen, als mit der Krämerwage.

Arzberger[1] hat vor bereits längerer Zeit die Schnellwaagen mit den Krämerwaagen auf eine so zweckmäfsige Weise vereinigt, dafs man glauben sollte, diese Constructionsart würde allgemeiner eingeführt seyn, als bisher der Fall war, woraus man sieht, dafs für den praktischen Gebrauch nur ganz einfache Werkzeuge verlangt werden, die sich ohne weitere Ue-
Fig. 19. berlegung mechanisch behandeln lassen. Der Waagebalken AB ist so eingerichtet, dafs er mit zwei Schalen an den beiden Enden als gleicharmige Waage dienen kann. Hängt man eine viermal so schwere Schale an den Haken D, so wiegt man das vierfache Gewicht der Gewichtstücke, und wenn die Schale an E aufgehangen ist, das sechzehnfache. Zugleich aber kann man sich eines Laufgewichtes bedienen, welches gegen 9 Pfund wiegt, dieses auf der eingetheilten Stange verschieben und damit, wenn die Last an D hängt, von 3 bis 35 ℔., wenn sie aber an E hängt, von 12 bis 135 ℔ abwägen.

Aufser der genannten Schnellwaage giebt es vorzüglich noch die sogenannte *dänische*[2] (zuweilen auch schwedische genannt). Sie unterscheidet sich dadurch, dafs sowohl die Waagschale als auch das Laufgewicht ihre Stelle am Hebelarme nicht verändern, indem letzterer dagegen selbst in einer Hülse
Fig. 20. verschoben wird, die zugleich die Axe enthält. Die Zeichnung giebt ein ungefähres Bild ihrer Construction. Man kann auf derselben sowohl geringe als auch grofse Lasten wägen, und wenn der stählerne vierkantige Waagebalken von etwa dreimal gröfserer Höhe als Dicke in feine Theile getheilt worden ist, an der einen Seite des Schlitzes in der Hülse, durch welche die Zahlen abgelesen werden, sich ein Nonius befindet, endlich aber die Messerschneiden, Unterlagen und überhaupt alle Theile der Waage nach den für die Krämerwaage angegebenen Regeln

---

1 G. XLVI. 294.

2 Die Engländer nennen sie Danish balance oder danish steelyard.

genau gearbeitet sind, so genügen solche Waagen auch zur Bestimmung sehr kleiner Gewichtunterschiede.

Sehr fein construirt waren die Schnellwaagen von Paul[1] in Genf, und sollten ebenso feine Gewichtsbestimmungen angeben, als vermittelst der Krämerwaagen gefunden werden, was jedoch nur dann möglich ist, wenn man den Waagebalken sehr leicht und den längeren Arm verhältnifsmäfsig sehr lang macht, wodurch der Apparat jedoch zum Wägen bedeutender Lasten untauglich wird. Sehr fein gearbeitet und mit verschiedenen Zierrathen versehn sind die *chinesischen Schnellwaagen*[2] aus Elfenbein, die blofs für geringe Lasten dienen; Ramsden[3] aber richtete eine gleichfalls feine Schnellwaage zur Bestimmung des spec. Gewichts der Körper ein, die Hassenfratz[4] dadurch zu verbessern suchte, dafs er auf dem längeren Hebelarme zwei verschiebbare Laufgewichte anbrachte, deren eins durch seine Stellung Gramme, das andere Centigramme angiebt, woraus man jedoch sogleich ersieht, dafs die Feinheit weit hinter derjenigen zurückbleibt, welche durch gleicharmige hydrostatische Waagen erreicht wird. Ungleich häufiger dagegen bedient man sich der Schnellwaagen zum Wägen grofser Lasten, jedoch geschah dieses ehemals häufiger als jetzt, wo man für diesen Zweck das Princip der zusammengesetzten Hebel anwendet und dadurch bedeutend an Raum erspart. Unter die älteren berühmt gewordenen Waagen ist vorzüglich die von Leupold[5] im J. 1718 in Leipzig angelegte grofse *Heuwaage* zu zählen, welche zwei Aufhängepuncte hatte und mit drei Laufgewichten, die bei den schwersten Lasten alle aufgelegt wurden, von 3 bis 58 Centner zog, wobei sie auf ein halbes Pfund einen Ausschlag gab. Der Waagebalken hatte 6 Leipz. Ellen Länge, das Laufgewicht wog 1,25 Centner, und über demselben war ein Senkel angebracht, um den horizontalen Stand des Waagebalkens anzugeben.

Bei den einfachen Schnellwaagen mufs der eine Hebelarm

---

1 S. Gregory's Mechanics. T. II. p. 405. Vergl. Philos. Mag. T. III.

2 Grew's Museum. p. 369. Hutton Dict. T. II. p. 456.

3 Account of Experiments to determine the spec. gravities of fluids. Lond. 1792. Journ. de Phys. 1792. Juin.

4 Ann. de Chim. An. 6. N. 76. G. I. 158.

5 Theatrum stat. univ. Part. I. Cap. 6.

sehr lang seyn, wenn grofse Lasten damit gewogen werden sollen; denn da die Axen nothwendig massiv seyn müssen, um die erforderliche Stärke zu haben, so lassen sie sich nicht einander so nahe bringen, um dem kürzeren Hebelarme das erforderliche Verhältnifs gegen den längeren zu geben. Eine wesentliche Verbesserung dieser Apparate beruht daher auf dem Principe, mehrere Hebel mit einander zu verbinden, um dadurch an Raum zu sparen, und hiernach hat man insbesondere in der neuern Zeit die Waagen für grofse Lasten ausnehmend bequem eingerichtet. Eine alte Einrichtung dieser Art sieht
Fig. man bei der *schwedischen Schiffswaage.* Sie befindet sich in
21. einem eignen Gestelle, und hängt an zwei Seilen, die über Rollen gehn und mittelst einer gezahnten Stange und eines Getriebes angezogen werden, um den Tragbalken, woran die Waage hängt, und diese zugleich mit in die Höhe zu winden, wenn die Last bereits auf die Schale gelegt worden ist. Letztere hängt zwischen den beiden Unterstützungspuncten des gröfseren Waagebalkens, dessen längerer Arm c durch den kürzeren des zweiten d gehoben wird, an dessen längerem Arme f die Waagschale mit dem Gewichte P hängt. Beide Waagebalken müssen im Zustande des Gleichgewichts sich in horizontaler Lage befinden, welches beim stärkern untern aus der Construction von selbst folgt, wenn es beim obern der Fall ist, und bei dem letztern wird es durch die Zunge u angezeigt, die in diesem Falle mit der lothrecht herabhängenden Stange v parallel laufen mufs. Man sieht bald, dafs das aufgelegte Gewicht P sich zu der gewogenen Last verhalten mufs, wie verkehrt die Producte der Längen der Hebelarme, also $P:W = ll':LL'$. Meistens wird die Einrichtung so getroffen, dafs $l = l' = 1$ und $L = L' = 10$ ist, wodurch $P = \frac{1}{100} W$ wird. Weil aber hierbei das eigene Gewicht der Waagebalken nicht berücksichtigt worden ist, so werden diese durch die Gewichte der beiden Waagschalen und, wenn dieses nicht zureicht, durch Gegengewichte so balancirt, dafs die unbelastete Waage sich im Gleichgewichte einstellt.

Auf der Verbindung mehrerer Hebel beruht auch die Construction der *Strafsen-* oder *Mauthwaagen*, die auch *Wägebrücken* genannt werden und in England dazu dienen, das Weggeld nach dem Verhältnifs der Breite der Radfelgen (Radschienen) zur Belastung zu erheben, in Frankreich aber blofs

dazu, das letztere Verhältnifs zu controliren. Eine ausführliche Beschreibung derselben würde hier zu viel Raum erfordern und zunächst nur den ausübenden Künstler interessiren, weswegen ich auf die vollständige Untersuchung ihrer Construction von v. GERSTNER [1] verweise und nur im Allgemeinen bemerke, dafs die Waagschale (Wägebrücke) sich vor den Mauthhäusern zu befinden pflegt, hinlänglich breit und lang für die zu wägenden Wagen und der Bequemlichkeit wegen im gleichen Niveau mit der Strafse. Sie ruht auf den kürzeren Armen von Hebeln, deren längere Arme wieder durch die kürzern anderer Hebel bewegt werden, bis zuletzt eine im Zimmer des Mauthbeamten befindliche Schnellwaage das reducirte Gewicht der gewogenen Last angiebt, woraus das absolute Gewicht der gewogenen Last durch einfache Rechnung hervorgeht.

Die wesentlichste Verbesserung haben in der neuern Zeit die zum Wägen gröfserer Lasten bestimmten Waagen durch den Mechaniker QUINTENZ und seine Nachfolger ROLLE und SCHWILGUE in Strafsburg erhalten [2]. Man übersieht die Construction dieser ebenso sinnreich als einfach gebauten Apparate, welche jetzt unter dem Namen *tragbare Brückenwaagen* oder *Basculen* (vom franz. *bascule*) sehr allgemein bekannt sind, am besten, wenn man die dabei angewandten zusammengesetzten Hebel durch blofse Linien darstellt [3]. Es sey zu diesem Ende n n′ die Brücke oder die Waagschale, worauf die Last Fig. 22.
W im Puncte a ruht, das eigene Gewicht dieser Brücke mit allen dazu gehörigen Theilen heifse Q, habe seinen Schwerpunct in m und ruhe mit dem Ende n auf dem Puncte c des Hebelarms h c i, welcher mit dem Waagebalken f k durch die Stange h k verbunden ist, das andere Ende b aber hänge vermittelst der Stange b e an eben diesem Hebelarme, dessen Unterstützungspunct in o sich befindet, so wie der des untern Hebels h c i in i. Die hiernach aufgelegte, auf b n ruhende Last übt gegen den Punct n einen Druck $= W\frac{ba}{bn}$ und gegen b

1 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 205 bis 210.

2 Dingler's polytechnisches Journ. Th. XIV. S. 1. Auf diese Waage hat J. G. DEIERLEIN zu London im Jahre 1825 ein Patent erhalten. S. London Journ. of arts and sciences T. XIV. N. 87. Wiener Jahrbuch. Th. XIII. S. 339.

3 V. GERSTNER Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 211.

einen Druck $= W \frac{an}{bn}$, zusammen also $= W \frac{ba}{bn} + W \frac{an}{bn} = W$ aus, das in seinem Schwerpuncte m angenommene eigene Gewicht der Brücke $= Q$ drückt aber auf den Punct n mit einer Last $= Q \frac{bm}{bn}$, gegen den Punct b mit einer Last $= Q \frac{mn}{bn}$, zusammen $= Q \frac{bm}{bn} + Q \frac{mn}{bn} = Q$. Die auf den Punct b wirkende Last ist daher $= W \frac{an}{bn} + Q \frac{mn}{bn}$ .... I.

Die auf den Punct n wirkende Last ist $= W \frac{ba}{bn} + Q \frac{bm}{bn}$. Letztere muſs also, auf den Punct c wirkend, den Hebel hi mit einer Kraft niederdrücken, welche die Stange hk mit einer Last

$$= \left(W \frac{ba}{bn} + Q \frac{bm}{bn}\right) \frac{ci}{hi} \;\ldots\; \text{II.}$$

niederzieht. Auf den Hebel fok wirken also in den Puncten e und k diese beiden angegebenen Gewichte, im Puncte f aber nach entgegengesetzter Richtung das Gewicht der Waagschale mit Ketten $= P$ und das auf ihr liegende Gewicht $= p$, und damit beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten, muſs seyn

$$(P + p)\,fo = \left(W \frac{an}{bn} + Q \frac{mn}{bn}\right) oe + \left(W \frac{ba}{bn} + Q \frac{bm}{bn}\right) \frac{ci}{hi} . ok.$$

Da die Verhältnisse der Längen der Hebelarme willkürlich sind, so werden sie am einfachsten einander gleich gesetzt, also $oe = \frac{ci}{hi} . ok$, und es lassen sich dann beide Glieder des letzten Theils der Gleichung addiren. Dieses giebt

$$(P + p)\,fo = \left(W \frac{an}{bn} + Q \frac{mn}{bn} + W \frac{ba}{bn} + Q \frac{bm}{bn}\right) oe;$$

$$(P + p)\,fo = \left(W \frac{(an + ba)}{bn} + Q \frac{(mn + bm)}{bn}\right) oe;$$

$$(P + p)\,fo = \left(W \frac{bn}{bn} + Q \frac{bn}{bn}\right) oe;$$

$$(P + p)\,fo = (W + Q)\, oe \;\ldots\; \text{III.}$$

Da in dieser Gleichung die Gröſsen ba und bm nicht mehr vorkommen, so folgt hieraus, daſs es gleichgültig sey, auf wel-

chem Puncte der Wägebrücke die Last liege; indefs findet dieses nur dann statt, wenn $oe = \frac{ci}{hi} . ok$ ist, oder wenn $oe : ok = ci : hi$. Hieraus folgt die Regel, dafs ok so oft in oe enthalten seyn mufs, als hi in ci. Es mufs dann das Gewicht der Waagschale (P) mit dem Gewichte der Wägebrücke vollkommen ausgeglichen seyn, und ist dann $p = 0$, so mufs auch $W = 0$ seyn, und man erhält aus der Gleichung (III)

$$P . fo = Q . oe \; .... \; IV.$$

Wird die letzte Gleichung von der vorletzten abgezogen, so bleibt

$$p . fo = W . oe,$$

oder

$$p : W = oe : fo.$$

Es verhält sich also der kürzere Hebelarm oe zum längeren fo, wie das Gewicht, welches auf die kleinere Waagschale gelegt wird, zum Gewichte der auf der Waagebrücke gewogenen Last; wobei jedoch die Bedingung statt finden mufs, dafs die unbelastete Waage in ihren verschiedenen Theilen sich im Gleichgewichte befindet. Bei den meisten Wägebrücken, ja man darf wohl sagen bei allen, da sie jetzt in der Regel nach empirischer Vorschrift verfertigt werden, findet das Verhältnifs von 1 zu 10 statt, welches zugleich bequem und für das Bedürfnifs im Ganzen zureichend ist. Wollte man für gröfsere Lasten das Verhältnifs 1 zu 100 wählen, so würde der Hebelarm of zu grofs ausfallen, doch liefse sich auch diesem leicht begegnen, wenn man den Punct f des längeren Hebelarmes auf den kürzeren eines zweiten Hebels wirken liefse, welcher zu seinem längern abermals das Verhältnifs von 1 zu 10 haben müfste, um durch diese Verbindung beider das von 1 zu 100 herauszubringen. Einen wesentlichen Vortheil der Bequemlichkeit gewähren diese Waagen durch die Einrichtung, dafs ein grofser Theil des Hebelwerkes unter den Wägebrücken liegt, sie mithin verhältnifsmäfsig nur wenig Raum einnehmen, aufserdem aber werden sie in eine Vertiefung des Fufsbodens eingesenkt und man kann daher die zu wägenden Lasten auf die Wägebrücke wälzen. Uebrigens versteht sich von selbst, dafs die Hebel mit Messerschneiden ebenso auf harten Unterlagen ruhn, um die Reibung möglichst zu vermindern, als dieses bei den Krämerwaagen und Schnellwaagen der Fall ist.

### c) Zeigerwaagen.

Eine Classe von Waagen, die sich durch ihre grofse Bequemlichkeit sehr auszeichnen und bis zu einem sehr hohen Grade von Feinheit bringen lassen, sind die Zeigerwaagen (Balance à cadran; *Bent lever balance*). Für den physikalischen Gebrauch eignen sie sich nach Baumgartner[1] insbesondere für diejenigen Fälle, wenn man das mit der Zeit sich ändernde Gewicht der Körper kennen will, welches sie dann selbst unter der Bedingung angeben, dafs sie unzugänglich sind, wie z. B. unter der Campane einer Luftpumpe u. s. w. Das Princip, worauf ihre Construction beruht, ist ganz einfach folgendes.
Fig. 23. ACB ist ein Winkelhebel, dessen horizontale Axe, in C unterstützt und mit einer Messerschneide auf einer harten Unterlage ruhend, ohne merkliche Reibung drehbar ist. Als physischer Hebel betrachtet habe er seinen Schwerpunct in G, seine Spitze beschreibe einen Kreisbogen ED, und der eine Arm sey so eingerichtet, dafs auf das Ende B desselben eine vertical herabziehende Last wirkt. So lange diese Last nicht vorhanden ist, wird der Schwerpunct G in die Verticale CE herabsinken und in F zur Ruhe kommen, wirkt aber auf B eine vertical herabziehende Kraft (ein in die an B hängende Waagschale gelegtes Gewicht), so bildet der andere Hebelarm mit der Verticalen einen Winkel ACE, dessen Gröfse aus den Theilen des getheilten Bogens ED bestimmt wird. Es seyen

$$ACB = \alpha,\ ACE = \varphi,\ BCE = \varphi',\ \text{mithin}\ \alpha = \varphi + \varphi'.$$

Heifsen ferner, nachdem die Horizontalen FB und GH gezogen sind, CG = A, CB = B, die an B hängende Last = P, das Gewicht des Waagebalkens = Q, so hat man für den Zustand des Gleichgewichts

$$Q\,.\,GH = P\,.\,BF$$

$$\text{oder}\ Q\,.\,B\ \text{Sin.}\,\varphi = P\,.\,A\ \text{Sin.}\,\varphi'$$

$$\text{oder}\ Q\,.\,B\ \text{Sin.}\,\varphi = P\,.\,A\,(\text{Sin.}\,\alpha\ \text{Cos.}\,\varphi - \text{Cos.}\,\alpha\ \text{Sin.}\,\varphi),$$

also

$$\text{Tang.}\,\varphi = \frac{P\,.\,A\,.\,\text{Sin.}\,\alpha}{Q\,.\,B + P\,.\,A\ \text{Cos.}\,\alpha}.$$

Aus dieser Formel folgt, dafs für P = 0 die Spitze A des Zei–

1 Supplementband. S. 55.

gers in die verticale Linie nach E herabsinken würde; allein da auch bei der unbelasteten Waage der andere Hebelarm selbst einiges Gewicht hat, aufserdem aber die Waagschale an demselben hängen mufs, so kann P nie = 0 werden und der Hebelarm mit der auf die Abtheilungen des Gradbogens zeigenden Spitze mufs daher etwas gebogen seyn, wenn die Theilung unten in E mit 0 anfangen soll. Ferner wachsen die Tangenten nicht der Gröfse von P direct proportional, und die Abtheilungen des Gradbogens können also einander nicht gleich seyn; man mufs daher einige derselben nach der Formel oder empirisch auftragen und die zwischenliegenden interpoliren, woraus jedoch folgt, dafs solche Waagen nicht wohl so genau seyn können, als die Krämerwaagen. Nach Baumgartner hat Werner in Wien eine solche Waage verfertigt, deren Construction aus der Zeichnung genügend erkannt wird, mit einem getheilten Bogen von 12 Zoll Halbmesser, die das Gewicht der Körper von 22 Grammen bis 1 Milligramm angiebt. Fig. 24.

Die Zeigerwaagen haben vor den bisher genannten Arten von Waagen den Vorzug, dafs sie das Gewicht der Körper unmittelbar ablesbar angeben, und da sie zugleich sehr empfindlich seyn können, so bedient man sich derselben zum Wägen der Garnsträhne, um deren gleich feine zum Weben der nämlichen Stücke Zeug zu wählen. V. Gerstner[1] beschreibt die gewöhnlichsten Arten derselben, von denen ich die folgenden zwei, eine mit verticaler und eine andere mit horizontaler Scale, hier aufnehme[2]. Die gebräuchlichsten sind die mit verticaler Scale und beruhn auf folgenden Gesetzen. Es sey der gebrochene Hebelarm acb in c unterstützt und in a mit einem Gewichte P beschwert. Da die physischen Hebelarme ein eigenes Gewicht haben, welches Q heifsen möge, so nehmen wir an, dafs die unbelastete Waage in der Lage acb zur Ruhe komme. Dabei Fig. 25.

---

1 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 194. Vergl. Arzberger in G. XLVI. 392, wo eine vollständige Theorie der Zeigerwaage gegeben worden ist.

2 Eine solche Zeigerwaage ist auch diejenige, welche Schlumberger unter dem Namen einer Schnellwaage oder römischen Waage construirt hat. S. Dingler's polytechnisches Journal Th. XXXVI. S. 5 aus Bullet. de la Soc. industr. de Mülhausen. N. II. Die minder wissenschaftliche Art der Eintheilung des Quadranten kommt auf das hinaus, was oben nach Baumgartner angegeben worden ist.

mufs der gemeinschaftliche Schwerpunct der Gewichte P + Q in irgend einem Puncte der von c herabgehenden Verticale liegen, wir nehmen an in m. Wird dann in i irgend ein Gewicht = W aufgehangen, so zieht dieses den Waagebalken von b nach d herab, die Waage kommt in der Lage l c d zum Stillstande und der Waagebalken bildet in seiner zweiten Lage mit der ersten einen Winkel $bcd = \varphi$, welcher dem Winkel l c a gleich ist, während der gemeinschaftliche Schwerpunct der Gewichte P + Q von m nach n gehoben wird und mit der frühern Lage einen Winkel $ncm = \varphi$ bildet. Da die statischen Momente einander gleich sind, so ist

$$(P + Q)\, no = W . ch \;\ldots.\; \text{I.}$$

Wegen der Gleichheit der Winkel sind auch die Dreiecke k c e und n c o, so wie auch k f e und c g h einander ähnlich. Man hat also

$$no : nc = ke : kc$$
$$cg : ch = kf : ke$$

$$no . cg : nc . ch = kf : kc, \text{ woraus } no = \frac{kf . nc . ch}{kc . cg} \;\ldots.\; \text{II.}$$

Der letztere Werth in (I) substituirt giebt

$$(P + Q)\,\frac{kf . nc . ch}{kc . cg} = W . ch.$$

Hieraus ergiebt sich der von der Zeigerspitze auf der verticalen Scale k r beschriebene Theil oder der Ausschlag

$$kf = \frac{W . kc . cg}{(P + Q)\, nc} \;\ldots.\; \text{III.}$$

Für ein anderes an i gehangenes Gewicht = W′ würde sich k f in kf′ verwandeln, und die von der Zeigerspitze an der verticalen Scale bezeichneten Abtheilungen sind also den Gewichten direct proportional; auch ergiebt sich aus der Formel, dafs k f um so gröfser wird, dafs also der Zeiger auf desto gröfsere Räume weiter rückt, also die Waage so viel empfindlicher wird, je länger der andere Hebelarm c k und je weiter der Aufhängepunct der Last g vom Drehpuncte c entfernt ist.

Die Construction der Waage kann auch so eingerichtet werden, Fig. 26. dafs das balancirende Gegengewicht Q sich in n befindet und der Zeiger in r auf 0 zeigt, wenn das Ende g des andern Hebelarmes in g unbelastet ist, dann aber nach n′ und der Zeiger nach k gehoben wird, wenn eine Last den Hebelarm bis

g' herabzieht. Will man der Bequemlichkeit wegen die Scale auf einen Kreisbogen auftragen, so darf man um so mehr, weil bei diesen Waagen nur geringe Unterschiede der Gewichte verlangt werden, mithin nur kleine Bogen erforderlich sind, nur die Linie st in gleiche Theile theilen und von den Theilungspuncten aus Linien nach c ziehen, deren Durchschnittspuncte mit dem Bogen auf diesem die Theile angeben.

Die zweite Classe dieser Waagen ist mit horizontaler Scale und ihre Berechnung der eben beschriebenen ganz ähnlich. Es befinde sich also für die unbelastete Waage das Gewicht Q in h, der eine Arm in a, der andere in b; nach der Belastung mit W komme h nach i, a nach d und b nach e, so ist für das Gleichgewicht Fig. 27.

$$W.cg = Q.ck,$$

also wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke dgc und fbe, so wie auch cki und ceb

$$cg:cd = be:bf$$
$$ci:ck = bc:be$$

$$cg.ci:cd.ck = bc:bf, \text{ also } cg = \frac{cd.ck.bc}{ci.bf},$$

welches substituirt giebt

$$W.\frac{cd.ck.bc}{ci.bf} = Q.ck$$

und hieraus

$$bf = \frac{W.cd.bc}{Q.ci}.$$

Die Theile bf der Scale sind also den Gewichten direct proportional, und es gilt von dieser Waage dasselbe, was so eben über die mit verticaler Scale gesagt worden ist, wie nicht minder die allgemeine Regel, daſs auch bei dieser Art von Waagen die Reibung so viel als möglich vermindert seyn muſs. Eine gewöhnliche Art der Construction dieser Waagen ist aus der Zeichnung ersichtlich, die keiner weiteren Erläuterung bedarf. Fig. 28.

## d) Federwaagen.

Eine jede Feder widersteht einer sie aus ihrer Lage bringenden, also sie auf- oder abwickelnden, sie beugenden, sie zusammendrückenden oder ausdehnenden Last mit einer stets

wachsenden Kraft, und wenn man diese in Gewichtstheilen ausdrückt, so erhält man die verschiedenen Arten von Federwaagen, die zwar sehr bequem sind, grofse Genauigkeit aber nicht gewähren können, weil überall die wachsende Elasticität der Federn der auf sie wirkenden Last nach keinem bestimmten Gesetze proportional zunimmt und an sich einer Modification durch den Einflufs der Temperatur unterliegt. Federwaagen pflegen daher nur da gebraucht zu werden, wo es auf grofse Genauigkeit nicht ankommt, z. B. beim Abwägen der Pferderationen an Heu, Hafer u. s. w., wobei sie wegen ihrer Kleinheit als sehr bequeme Apparate dienen. Eine theoretische Bestimmung der von ihnen anzugebenden Gewichte ist unmöglich, sie müssen also empirisch getheilt werden, und es genügt daher, die gangbarsten derselben nur im Allgemeinen zu
Fig. 29. beschreiben. Eine sehr gemeine Art besteht aus einem hohlen, etwa 4 bis 6 Zoll langen und ungefähr 1 Zoll im Durchmesser haltenden Cylinder, oben mit einem Ringe, um sie an einem Finger zu halten, unten mit einem Haken, woran die zu wägende Last gehangen wird. Im Cylinder ist eine schraubenförmig gewundene Feder angebracht, welche durch die Last zusammengedrückt wird. Durch diese Feder ist eine vierkantige Stange gesteckt, welche sich bei der Zusammendrückung derselben entweder oben oder unten durch den Deckel des Cylinders ziehen läfst, je nachdem die Feder sich gegen den obern oder untern Boden des Cylinders steift, und auf der flachen Seite dieser Stange sind dann diejenigen Gewichte, meistens nur bis zu Viertelpfunden, bezeichnet, die der erzeugten Zusammendrückung der Feder zugehören, so dafs man das Gewicht der gehobenen Last unmittelbar ablieset.

Nach einer zweiten, gleichfalls sehr gewöhnlichen, Construction bestehen die zu gleichen Zwecken dienenden Feder-
Fig. 30. waagen aus einem stählernen Bügel, welcher oben mit einem Oehre versehen ist, durch welchen der zum Halten dienende Ring geht, unten aber mit einem zweiten d, in welchem der zum Anhängen der Lasten bestimmte Haken h hängt. Das eine Ende des stählernen Bügels hält in einem Scharniere r das Ende eines Zeigers, welcher durch eine Oeffnung b im andern Ende des Bügels gesteckt ist, und dessen Spitze c beim Auseinanderziehen des Bügels auf einem getheilten Bogen diejenigen Gewichte angiebt, welche an den Haken h gehangen die

stärkere Ausdehnung des Bügels bewirken. Diese Scale befindet sich auf einer messingnen Platte on von geeigneter Form, welche in e am Bügel befestigt ist. Man hat auch zum Garnwiegen dienende Federwaagen, die aus einer am oberen Ende etliche Male umgewundenen und in einen hölzernen Cylinder ef eingelassenen Feder bestehen, wobei ein in den Cylinder gesteckter Draht ss′ dazu dient, die zu wägenden Strähne vermittelst eines Hakens daran zu hängen. Zu den Federwaagen pflegt man auch die *Dynamometer* zu rechnen, von denen bereits geredet worden ist[1]; es verdient aber hier noch bemerkt zu werden, dafs unter Andern namentlich Egen[2] dieses Werkzeug, dessen er sich bei seinen lehrreichen Untersuchungen über die Kraft der Mühlräder bediente, *Federwaage* nennt, dagegen einen andern Apparat durch Dynamometer bezeichnet, welcher bei seinen Messungen gleichfalls gebraucht wurde. Letzterer besteht aus einem starken eisernen flachen Ringe, welcher um die Mühlenwellen gelegt, und um für diese von verschiedener Dicke zu passen, mittelst Schrauben, deren untere Spitzen sich hinlänglich tief in die hölzerne Welle eindrücken, unbeweglich befestigt wird. Um diesen Ring, welcher aufsen flach und mit aufstehenden Rändern versehen ist, um das Abgleiten zu verhüten, wird ein anderer Ring als Band gelegt und mittelst Schrauben fest angezogen, damit beide sich auf einander so stark reiben, als der jedesmalige Versuch erfordert. Während also der innere Ring sich mit der Mühlenwelle umdrehet, wobei der äufsere Ring so stark angezogen wird, dafs jener nach ausgelösetem Getriebe die nämliche Umdrehungsgeschwindigkeit erhält, als wenn das zugehörige Werk im Gange ist, so verwendet die Mühlenwelle ihre ganze Kraft auf die Ueberwindung der Reibung beider Ringe auf einander, die zur Verhütung des Erhitzens stets mit Wasser benetzt werden. Am äufseren Ringe befindet sich ein starkes Oehr; durch dieses steckt man einen Balken, um den Ring festzuhalten, und an das andere Ende dieses Balkens oder dieser Stange bringt man die Federwaage (das Dynamometer) an, welche die von der Stange gehobenen Gewichte und also, mit Rücksicht auf die ungleiche

Fig. 31.

1 S. Art. *Dynamometer*. Bd. II. S. 715.

2 Untersuchungen über den Effect der Wasserwerke u. s. w. Berl. 1831. 4.

Länge der Hebelarme, die Kraft der Mühlenwelle in Pfunden angiebt. Egen tadelt die in diesem Werke angegebene Construction der Dynamometer (Federwaagen) deswegen, weil der stählerne Bügel durchbrochen ist, um die Handhaben und das Zeigerwerk anzubringen, und er läfst diese daher durch übergreifende Klammern befestigen, inzwischen ist die Schwächung des Bügels durch die Löcher nicht merklich, weil die eingebrachten Zapfen sie vollständig ausfüllen, auch habe ich bei gut ausgeführten Dynamometern nie eine Abweichung vom richtigen Gange bemerkt, selbst wenn sie mit Lasten bis zu 1000 Kilogrammen beschwert wurden. V. Gerstner[1] hat eine eigenthümliche, gleichfalls sehr zweckmäfsige, Construction der Dynamometer (*Kraftmesser*) angegeben; mir scheint aber die von mir in Vorschlag gebrachte, neuerdings noch etwas verbesserte, deswegen den Vorzug zu verdienen, weil der Zeiger, sowohl wenn er nach einer Seite hin sich bewegend kleinere Gewichte angiebt, als auch nach der anderen gröfsere, jederzeit einen ganzen Kreis durchläuft, wodurch die Messung leichter und genauer wird.

Zu den Federwaagen kann auch diejenige gezählt werden, welche Ritchie[2] auf das Princip gegründet hat, dafs lange und dünne Glasfäden eine den drehenden Kräften ins Unbestimmte proportionale Elasticität besitzen, denn er drehete einen solchen Glasfaden von 10 Fufs Länge wenigstens um 5000 Grade, bis er ein einziges Grän zu heben vermochte. Die hiernach construirte Waage besteht aus einem sehr feinen Waagebalken ab, bei welchem vor allen Dingen nur seine Leichtigkeit in Betrachtung kommt, doch soll er, nach der Angabe des Erfinders, zugleich die erforderliche Mensur haben, um in beiden Schalen zu wägen. Der Waagebalken ist über einer perpendiculär auf seine Längenaxe gerichteten feinen Messerschneide kk befestigt, und hat am einen Ende eine Spitze, welche an einer Scale seinen horizontalen Stand angiebt; die Messerschneide ruhet auf zwei kleinen Glasstäbchen c und c, welche auf den beiden Armen einer verticalen Stütze befestigt sind. An dem einen Ende k in der Verlängerung der Schneide ist ein

Fig. 32.

1 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 216.

2 Philos. Trans. 1830. p. 215. Schweigger's Journ. Th. LXI. S. 336. Fechner's Repertorium Th. I. S. 7. Wiener Zeitschrift. Th. IX. S. 214.

aus mehreren Fädchen ungezwirnter Seide verfertigter Faden angebunden, dessen anderes Ende an die Spirale s aus dünnem Messingdraht geknüpft wird, am andern Ende der Schneide ist ein Glasfaden von einer der Bestimmung angemessenen Dicke und Länge befestigt, dessen anderes Ende durch etwas Siegellack in einem kleinen hölzernen Cylinder feststeckt, welcher im Centrum der Scheibe d mittelst eines Knöpfchens e um seine Längenaxe gedrehet werden kann. Die Scheibe hat am Rande eine Theilung, und auf dem Ende des hölzernen Cylinders steckt ein Zeiger, welcher angiebt, um wie viele Grade der Glasfaden gedrehet wird. Die Methoden, welche Ritchie angiebt, um vermittelst dieser Waage zu wiegen, scheinen mir weit künstlicher, als dieses nöthig ist, und ich glaube vielmehr, daſs man sehr bequem auf folgende Weise verfahren könne, da eine solche Waage doch nur zum Wägen kleiner Lasten bestimmt seyn kann, und als erwiesen vorausgesetzt wird, daſs die Elasticität des Glasfadens den ihn drehenden Lasten proportional ist, mithin die Grade seiner Drehung die diesen proportionalen Gewichttheilchen angeben. Diesem gemäſs wird der mit der Theilung versehene Ring so eingerichtet, daſs er sich um die geometrische Axe des Glasfadens drehen und demnach so stellen läſst, daſs der Zeiger beim Zustande des Gleichgewichts der unbelasteten Waage auf 0 zeigt. Wird dann die eine Waagschale mit einer geringen Last beschwert, so sinkt sie herab, man drehet dann den kleinen Cylinder an seinem Knopfe und somit zugleich den in ihm steckenden Glasfaden und den Zeiger nach der entgegengesetzten Seite so lange, bis die Waage wieder zum Gleichgewichte gekommen ist, und erhält aus dem von der Zeigerspitze durchlaufenen Bogen die Gröſse des Gewichtes. Betrügen z. B. für ein Centigramm die durchlaufenen Grade 500, so kämen auf ein Milligramm 50, und eine bewirkte Drehung von 20 Graden würde ein Gewicht von $\frac{20}{50}$ oder $\frac{2}{5}$ Milligramm anzeigen. Bei dem Abwägen von gröſseren Lasten könnten die Drehungen bloſs zur Auffindung der kleinen Gewichttheilchen benutzt werden. Wäre z. B. ein Körper vermittelst Gewichtstücken bis so weit abgewogen, daſs durch Zulegen eines Milligramms die Gewichtstücke das Uebergewicht hätten, nach der Wegnahme desselben aber der gewogene Körper herabsänke, der Unterschied also nur einen gewissen Theil eines Milligramms betrüge, so müſste das Gleich-

gewicht durch Drehung des Fadens hergestellt werden, und die vom Zeiger durchlaufenen Grade gäben dann die Bruchtheile des Milligrammes an. Würde z. B. nach der obigen Bestimmung eine Drehung von 10 Graden erfordert, um das durch Wegnahme des Milligramms aufgehobene Gleichgewicht wieder herzustellen, so würde dieses anzeigen, dafs der gewogene Körper n + $\frac{10}{50}$ oder n + $\frac{1}{5}$ Milligramm wöge. Ritchie giebt sachgemäfs an, dafs man Glasfäden von verschiedener Stärke in Anwendung bringen könne, auch ist es zweckmäfsig, die Waage zur Vermeidung des Luftzuges in einen Kasten zu setzen, aus welchem der oft lange Glasfaden heraussteht kann.

Endlich läfst sich in gewisser Beziehung an die Federwaagen noch diejenige anreihen, welche, vielleicht mehr zu den Krämerwaagen gehörig, nach einer eigenthümlichen Construction von W. Weber in Vorschlag gebracht und mir durch die Ansicht einiger bereits verfertigter Exemplare bekannt geworden ist[1]. Der Waagebalken besteht aus einem länglich vierkantigen Rahmen, dessen beide längere Seiten in ihrer Mitte durch einen Querbalken verbunden sind; letzterer aber hängt an zwei Uhrfedern bei gleichem Gewichte seiner beiden Hälften und der von der Mitte der kürzern Seiten herabhängenden Schalen horizontal, welcher Stand durch einen Zeiger an einem getheilten Bogenstücke angezeigt wird. Eine in die eine Waagschale gelegte Last drückt diese hinab, bis durch das in die andere gelegte Gegengewicht der horizontale Stand wieder herbeigeführt wird, und das Wägen mit ihr geschieht daher auf dieselbe Weise als bei der Krämerwaage. Zur allgemeinen Kenntnifs der Sache wird diese kurze Andeutung hier genügen.

## e) Senkwaagen.

Das hydrostatische Gesetz, nach welchem jeder in eine Flüssigkeit eingetauchte Körper so viel Widerstand findet, als das Volumen der durch ihn verdrängten Flüssigkeit beträgt, verbunden mit der Erfahrung der höchst geringen, hierbei statt findenden Reibung, hat sicher häufig die Idee hervorgerufen, hierauf die Construction von Waagen zu gründen; als wirklich ausgeführt sind mir jedoch nur wenige Vorschläge bekannt

1 Vergl. Götting'sche gel. Anz. 1837. S. 218.

geworden, die ich hier kurz angebe, weil eine nähere Prüfung die nicht genügende Zweckmäſsigkeit derselben darthun wird. Nach CHAMPION[1] soll in ein hohles cylindrisches Gefäſs ein anderer Cylinder gesenkt werden, so daſs zwischen beiden nur ein Spielraum von 1 bis höchstens 2 Linien bleibt. Wird dann in das Gefäſs die erforderliche, nicht eben groſse Menge Quecksilber gegossen, so treibt dieses, indem es selbst in dem Zwischenraume in die Höhe steigt, den innern Cylinder mit einer Kraft empor, welche dem Gewichte einer Quecksilbersäule von der Basis dieses Cylinders und der Höhe, bis zu welcher es emporgetrieben wird, gleich ist. Es läſst sich dann leicht eine Vorrichtung herstellen, z. B. ein Kreuz mit überstehenden Enden auf der obern Fläche des eingesenkten Cylinders befestigt, von welchen vier Seile herabhängen, die eine Waagschale halten, damit die zu wägenden Lasten den Cylinder in der Flüssigkeit niederdrücken. Ein angebrachter Zeiger dreht sich bei tieferem Einsenken vor einer getheilten Scale, und zeigt auf dieser nach vorher gemachter empirischer Bestimmung die zum tieferen Herabdrücken erforderlichen Gewichte, so daſs man bei nachherigen Wägungen bloſs die Scalentheile, die der Zeiger angiebt, abzulesen hat, um die Gewichte der gewogenen Lasten zu bestimmen. Weit mehr zusammengesetzt ist eine andere sogenannte hydraulische Waage, worauf MEDHURST ein Patent erhalten hat[2]. Diese besteht der Hauptsache nach aus einem cylindrischen, mit Wasser gefüllten Gefäſse, in welches ein anderes, oben luftdicht verschlossenes, unten offenes, so eintaucht, daſs beim tiefern Hinabsinken die Luft in ihm verdichtet wird. Das Wasser im ersten Gefäſse steht mit dem in zwei andern Cylindern in Verbindung, in welches zwei massive Cylinder eintauchen, deren Gröſse zu der des hohlen Cylinders in einem solchen Verhältnisse genommen wird, daſs der Wasserstand in allen drei Behältern stets gleich bleibt, weil in das hohle Gefäſs durch Compression der darin befindlichen Luft so viel Wasser eindringt, als die beiden herabgedrückten Cylinder verdrängen. Aus hydrostatischen Gesetzen ergiebt sich dann von selbst, daſs die drei Cylinder den sie tiefer

1 Aus Annales des Arts et Manufactures und Journal für Fabriken Oct. 1805. S. 300. in G. XXX. 389.

2 Aus Repertory of Inventions in Dingler's polytechnischem Journ. Th. XXV. S. 218.

hinabdrückenden Lasten einen zunehmenden Widerstand entgegensetzen, so dafs die Gewichte der aufgelegten Körper aus der Tiefe des Einsinkens erkannt werden; die geeigneten Vorrichtungen aber, um mittelst eines solchen Apparates zu wägen, lassen sich leicht auffinden.

Die erste dieser beiden Waagen unterliegt dem grofsen Uebelstande, dafs das Quecksilber die eisernen Cylinder sehr bald zum starken Rosten bringt, sie dadurch verdirbt, selbst aber in einem hohen Grade verunreinigt wird und sich dann an die Wandungen hängt, wodurch die Waage sehr unrichtig werden mufs. Dieser Mangel ist so bedeutend, dafs ich hiernach die ganze Idee für praktisch unausführbar halte, wenn es nicht möglich ist, hölzerne, mit Firnifs überzogene, zugleich aber gegen das Reifsen und Schwinden gesicherte, Cylinder zu verwenden. Beide Apparate unterliegen dem Mangel, dafs die Flüssigkeiten sich durch Wärme stark ausdehnen, wodurch die Wägungen unrichtig werden; aufserdem aber sind feine Wägungen damit unmöglich, weil diese sehr dünne eintauchende Cylinder erfordern, die dann für zunehmende Gewichte zu lang seyn müfsten, dicke und kurze eintauchende Cylinder verdrängen aber eine zu grofse Masse von Flüssigkeit, als dafs eine nur annähernde Feinheit der Wägung damit möglich seyn sollte. Hiernach bleibt die für einen einzigen Zweck, nämlich die Auffindung des specifischen Gewichts der Flüssigkeiten, bestimmte Senkwaage von Tralles[1] allein brauchbar; alle andere Vorschläge sind aber zu verwerfen, und es wird schwerlich überhaupt erreichbar seyn, auf eine andere Weise, als diese letztere, zu einer den Forderungen genügenden Waage zu gelangen.

Ungleich leichter, ja überhaupt ohne Schwierigkeit ausführbar ist dagegen eine in der That sogar zweckmäfsige Waage,

---

1 S. Art. *Aräometer*. Bd. I. S. 388. Solcher Waagen hat sich auch Hassler bei der Regulirung der nordamericanischen Mafse und Gewichte bedient und bei gröfseren Lasten den Schwimmer auch in Quecksilber gesenkt. Da ihre Feinheit der Gröfse des eingetauchten Körpers und der Dünnheit seines Stieles proportional ist, so gestatten sie einen sehr hohen Grad der Genauigkeit und durch das erwähnte Princip der *doppelten Wägung* (indem man den zu wägenden Körper auf die Waagschale legt und ihn dann mit Gewichtstücken vertauscht) allgemeine Anwendung; aufserdem aber sind sie sehr wohlfeil, haben nur eine verschwindend geringe Reibung, und vereinigen somit mehrere nicht geringe Vorzüge.

welche auf das Princip des gleich hohen Standes der Flüssigkeiten in communicirenden Röhren gegründet, durch v. Horner[1] angegeben, geprüft und brauchbar gefunden wurde. Sie besteht Fig. 33. aus einem Cylinder A, welcher oben etwas ausgehöhlt und mit einem Stücke starken Bocksleders von einem Beutel, worin das Quecksilber versandt zu werden pflegt, bauchig überbunden ist. In den Cylinder war die doppelt rechtwinkelig umgebogene, ungefähr zwei Linien weite[2] Glasröhre D'D' eingekittet, durch welche der lederne Sack mit Quecksilber gefüllt wurde. Aus der Zeichnung ergiebt sich dann von selbst das Fuſsbret N, auf welchem der Cylinder ruht, die aufstehende Leiste, um das verticale Ende der Glasröhre und eine geeignete Scale daran zu befestigen, ferner die Leisten s r und das Bret B, auf welches die zu wägenden Lasten gelegt werden. Diese drücken gegen das Quecksilber in dem aufgetriebenen Beutel und machen es in der Röhre aufsteigen, wobei aus der Höhe und dem Durchmesser des Cylinders das aufgelegte Gewicht bestimmbar wird. Bei dem beschriebenen Exemplare hielt der Cylinder ungefähr 1,5 Zoll im Durchmesser und das Quecksilber stieg dann durch 1 Pfund Gewicht um einen Zoll. Der Einfluſs der Wärme auf das Quecksilber ist unbedeutend, stärker aber dürfte der der Feuchtigkeit auf das Leder seyn, doch lieſse sich diesem zum Theil begegnen, wenn man die Scale verschiebbar machte, damit das Quecksilber in der Röhre bei unbelasteter Waage stets auf 0 einstände. Der eigentliche Vortheil liegt indeſs wohl minder in der Feinheit und Genauigkeit, als in der Bequemlichkeit und Einfachheit dieser Vorrichtung; auch scheint es mir eine nicht unwesentliche Verbesserung zu seyn, wenn man statt des Leders, welches das Quecksilber bei starkem Drucke leicht durchläſst, Federharz zum Ueberbinden des Cylinders wählte.

### f) Waagen von eigenthümlicher Construction.

Verschiedene Apparate, die gleichfalls Waagen genannt werden, sind bereits beschrieben worden, z. B. die *Aräometer* und die

1 G. LXVIII. 102.

2 Besser würde es seyn, sie nur eine oder höchstens 1,5 Lin. weit zu nehmen.

*hydrostatischen Waagen*[1], wie nicht minder die *Drehwaage*[2] von Coulomb nebst ihren verschiedenen Modificationen; es bleibt uns daher nur noch übrig, die Waagen von eigenthümlicher Construction, bei denen die bisher erörterten Principe nicht in Anwendung kommen, kurz anzugeben. Es ist mir indeſs nur eine bekannt geworden, die Erwähnung verdient, nämlich die durch Huber[3] vorgeschlagene und von ihm balance tangentigrade genannte. Denken wir uns ein Ge-
Fig. 34. stell ab de und an diesem einen Faden von möglichst geringem Gewichte in f befestigt, dann über eine Rolle r gezogen, so wird dieser zwischen dem Anfangspuncte f und der Rolle r durch ein beliebiges Gewicht P in eine gerade Linie gespannt, jedes in p angehängte Gewicht muſs ihn aber herabziehen, und zwar zu einer der Gröſse des letzteren proportionalen Tiefe, so daſs man aus der Tiefe des Fadens die ihn herabziehende Last ermessen kann, wozu die angebrachte Scale dient, auf deren Theil der Punct c des Fadens hinweiset. Alle sonstige Mängel einer solchen Waage nicht gerechnet giebt schon die Reibung der Rolle, wenn auch möglichst vermindert, ein bedeutendes Hinderniſs ab.

Weit zweckmäſsiger ist dagegen die Construction eines ähnlichen, von W. Weber[4] in Vorschlag gebrachten und *Kettenwaage* genannten Apparates. Wird nämlich ein biegsamer Faden mit seinen zwei Enden an festen Puncten befestigt, so bildet der herabhängende Theil die bekannte Kettenlinie (*catenaria*). Werden aber in beliebigen Entfernungen von jenen festen Puncten Fäden mit herabhängenden Gewichten angeknüpft, so geht die Form der drei hierdurch gebildeten Theile der Kettenlinie in gerade Linien über, deren gegensei-
Fig. 35. tige Lage durch das Verhältniſs der herabziehenden Gewichte bedingt wird. Sind demnach die beiden festen Puncte C und C′, die Gewichte P und P′, ist ferner CA von gleicher Länge mit CB und liegen C und C′ in einer horizontalen Ebene, so wird auch AB für P = P′ eine horizontale Lage erhalten und

---

1 S. Art. *Araeometer*. Bd. I. S. 349. Vergl. *Gewicht*. Bd. IV. S. 1516.

2 S. Art. *Drehwaage*. Bd. II. S. 591.

3 Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. Nat. de Genève 1821. T. I. p. 93.

4 Gött. gel. Anzeigen. 1837. S. 211.

der Winkel A dem Winkel B gleich seyn; ein Unterschied der Gröfsen P und P′ mufs aber eine verhältnifsmäfsige Abweichung der Linie AB von der horizontalen Lage und eine Ungleichheit der Winkel A und B zur Folge haben, so dafs sich durch die letzteren Gröfsen die ersteren messen lassen. Die weitere Untersuchung ergiebt jedoch, dafs auf diesem Wege diejenige Feinheit nicht erreicht wird, welche den Krämerwaagen eigen ist, und wollte man nach dem Vorschlage des Erfinders noch einen dritten Radius anbringen und die dadurch vergröfserte Veränderung des Winkels in einem Spiegel vermittelst eines Fernrohrs ablesen, so dürfte der Apparat dadurch zu complicirt werden.

Gegen das Ende des vorletzten Jahrhunderts, während der vielen Versuche zur Begründung des Gesetzes des Hebels, machte Roberval[1] einen Apparat bekannt, welcher nach ihm *Waage des Roberval* (*Vectis Robervalli;* Balance de Roberval; *Roberval's Balance*) genannt worden ist. Die zu einem Parallelogramm vereinigten vier Stäbe ABCD sind an ihren vier Fig. 36.
Enden vermittelst hölzerner Nägel so verbunden, dafs sie sich um diese Zapfen leicht bewegen lassen, zugleich sind die beiden langen zwischen den beiden Theilen der Säule GH um die in ihrer Mitte E und F durchgesteckten Zapfen drehbar. Zwei in P und Q unbeweglich befestigte Querstangen IM und NO dienen dazu, die beiden gleichen Gewichte K und L aufzunehmen, und die Waage ist stets im Gleichgewichte, an was für einer Stelle der Querleisten diese Gewichte auch hängen mögen. Das anscheinend Paradoxe bei diesem Apparate liegt blofs darin, dafs man den Unterstützungspunct der Hebelarme in der Säule GH liegend annimmt und zugleich die Entfernung der Angriffspuncte beider Lasten in M und O als ungleich entfernt von den Unterstützungspuncten in E und F betrachtet, da vielmehr wegen der Unbeweglichkeit der Querstangen die Angriffspuncte der Lasten, wo sie auch an den Querstangen angebracht seyn mögen, stets in P und Q, also in gleicher Entfernung von den Unterstützungspuncten, liegen. Auf diese Weise wurde dieses Problem sofort erklärt[2], Bris-

1 Journal des Sçav. éd. Amst. 1670. Leupold Theatrum staticum universale p. 59. Tab. XVII. fig. 2 u. 3.

2 Mém. de l'Académie. T. X. p. 343.

son[1] aber zeigte ausführlich nach dem von Cartesius aufgestellten allgemeinen Gesetze des Hebels, dafs alle Theile der Querbalken bei der Bewegung gleiche Räume durchlaufen, mithin sich als gleich lange Hebelarme verhalten, da die von ungleich langen Hebelarmen durchlaufenen Räume ihren Längen direct proportional sind. Später hat Hofmann[2] abermals die Erklärung dieses Problems unternommen, was Langsdorff für eine gröfsere Mühe erklärte, als die Sache verdiene, inzwischen hat auch Gregory[3] dasselbe einer speciellen Erörterung werth erachtet, wobei er den Apparat zugleich für eine Erfindung von Désaguliers[4] ausgiebt.

*M.*

# Wärme.

## Wärmestoff, Feuer; *Calor;* Calorique, Chaleur, Feu; *Heat.*

1) Wärme nennen wir die physische Ursache einer solchen Beschaffenheit der Körper, vermöge welcher sie in unserem Körper eine gewisse Empfindung erzeugen, wonach sie *warm* heifsen, oder thermoskopische Körper so afficiren, dafs wir auf ihre Anwesenheit daraus schliefsen und zuweilen ihre Intensität danach bestimmen. Erreicht die Wärme einen hohen Grad, so nennen wir sie *Hitze,* und betrachten sie als die Ursache desjenigen Zustandes der Körper, nach welchem wir dieselben *heifs* nennen. Ist sie in den Körpern in geringer Intensität vorhanden, so nennen wir dieselben *kalt*, und bezeichnen die physische Ursache dieses Zustandes durch den Ausdruck *Kälte (Frigus;* Froid; *Coldness*). Eine weitere Bestimmung sonstiger in dieser Beziehung üblicher Bezeichnungen würde überflüssig seyn, da sie als hinreichend bekannt gelten können. Dagegen kommt eine andere Frage sehr in Betrachtung, nämlich ob alle die Erscheinungen, die wir durch

---

1 Dictionn. rais. de Phys. Art. Levier.

2 Roberval's Waage von Hofmann. 1816. 28 S. 4.

3 Darstellung der mechanischen Wissenschaften. Uebers. von Dietlein. Halle 1824. 8. S. 90.

4 Philos. Trans. N. 419. New Abridgement. T. VI. p. 542.

die Ausdrücke Wärme, Hitze, Kälte u. s. w. bezeichnen, nur von einer und der nämlichen Ursache, der Wärme, herrühren, sofern diese vermehrt bis zu den höchsten Graden der Hitze zunehmen, dagegen vermindert bis zu den tiefsten Graden der Kälte abnehmen müfste, oder ob es eine gewisse Grenze, einen gewissen Nullpunct giebt, über welchem Wärme und unter welchem Kälte, beide einander entgegengesetzt und bei ihrer gehörigen Vereinigung sich zu Null ausgleichend, anzunehmen wären[1]. Allerdings pflegt man den Nullpunct der Thermometer als eine solche Grenze zu betrachten, und der Ausdruck: *Grade der Wärme* und *Grade der Kälte*, dessen sich Manche bedienen, ja selbst die mehr wissenschaftliche Bezeichnung von + Graden und — Graden der Thermometer deutet auf einen Uebergang der Wärme zur Kälte, oder mindestens auf ein Vorhandenseyn von Wärme und einen Uebergang vom gänzlichen Mangel derselben zu einer ihr entgegengesetzten Potenz; allein eine genauere Untersuchung der Sache zeigt bald, dafs es nur Wärme von verschiedener Intensität, und keine ihr entgegengesetzte und sie neutralisirende Kälte geben könne, wenngleich der Sprachgebrauch, das Vorhandenseyn weniger Wärme durch den Ausdruck Kälte zu bezeichnen, grofse Bequemlichkeit gewährt. Schon der gemeine Sprachgebrauch deutet darauf hin, dafs keine zwei entgegengesetzte, durch eine eigentliche Grenze geschiedene, Potenzen vorhanden sind, denn die Bestimmungen hierüber sind nicht absolut, sondern relativ, sofern der Eine von Kälte redet, wo der Andere Wärme findet. Der Nullpunct der Thermometer aber ist eine durchaus willkürliche, für die stets gleichmäfsig zu erhaltende Temperatur des schmelzenden Schnees angenommene Bestimmung, die noch obendrein bei den verschiedenen Thermometerscalen ungleiche Werthe hat[2]. Endlich aber, und dieses Argument ist unwiderleglich, gewahren wir

1 Joh. Casp. Müller beweiset in einer eigenen Schrift: Dissert. acad. de Frigore cet. Jen. 1698. 4., dafs es keine für sich bestehende Kälte gebe, sondern dafs alle Erscheinungen (deren Deutung übrigens nicht selten sehr gezwungen ist) aus der ungleichen Menge des vorhandenen Wärmestoffes erklärt werden können. Aus der gesammten Darstellung kann man ersehen, dafs mit Ausnahme des gemeinen Sprachgebrauches, worin unwissenschaftlich Wärme und Kälte unterschieden werden, die Physiker stets nur ein einziges Wesen, nämlich Wärme, annahmen.

2 Vergl. *Thermometer*. S. 882.

stets dem Wesen nach gleiche Erscheinungen, welche als Wirkungen einer und derselben Potenz, die wir Wärme nennen, jedoch von sehr ungleicher Intensität, zu betrachten sind. Durch Vermehrung der Wärme schmilzt auf gleiche Weise das erstarrte Quecksilber, als das feste Eisen, heifses Kupfer giebt dem starren Blei Wärme ab und macht es flüssig, gerade auf die nämliche Weise, als wie das letztere Metall Eis zur Flüssigkeit bringt und Eis von seiner Wärme an das erstarrte Quecksilber abgiebt, um dieses in den Zustand der Flüssigkeit zu versetzen. Hierin und in allen andern uns bekannten Phänomenen ist es also stets eine und die nämliche Potenz, welche sich uns als wirksam zeigt, ihre Wirkungen sind einander stets gleich, bis zu wie tiefen Graden der blofs unwissenschaftlich so genannten Kälte wir auch herabgehen mögen, und es ist nicht blofs kein Grund vorhanden, welcher uns anzunehmen berechtigte, dafs es bei noch gröfserer, aufser dem Bereiche unserer Erfahrung liegender, Verminderung der Wärme anders seyn sollte, sondern es würde auch durchaus unwissenschaftlich und den logischen Gesetzen des Denkens widerstreitend seyn, wenn man willkürlich irgend einen Punct festsetzen wollte, wo das, was wir Wärme nennen, aufhören und eine ihr entgegengesetzte Potenz anfangen sollte, zu deren Annahme gar kein Grund vorhanden ist, da sich alle Erscheinungen einfach aus einem Mehr und Minder der vorhandenen Wärme erklären lassen.

## A. Wesen der Wärme.

Es scheint zwar der Sache angemessen zu seyn, zuerst die Thatsachen kennen zu lernen, das heifst, diejenigen Erscheinungen zu erörtern, bei denen sich die Wärme thätig zeigt oder die wir als Wirkungen derselben kennen, um aus diesen auf das Wesen der zu untersuchenden Potenz zu schliefsen; allein man hat es zweckmäfsiger gefunden, und der Verfolg der Untersuchungen wird dieses rechtfertigen, zuerst aus allbekannten, keiner nähern Prüfung bedürfenden, Thatsachen hypothetisch zu bestimmen, wofür wir das, was wir Wärme nennen, zu halten haben, und demnächst dieser Hypothese die Erfahrungen anzupassen, um sie auf solche Weise gehörig zu begründen. Diese Methode wollen wir auch hier befolgen, und zuerst untersuchen, was wir als die physische Ursache der Wärme-

erscheinungen nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen anzunehmen haben[1].

2) Nach Aristoteles und den ältern Philosophen überhaupt war die physische Ursache aller Wärmeerscheinungen das *Feuer* (*Elementarfeuer; Ignis elementaris, materia calorifica;* Feu élémentaire), ein Element, ein feines, ätherartiges Wesen, welches sich am meisten von der schweren körperlichen Masse entfernte. Die Scholastiker wollten daher aus seinen Ausdrücken folgern, er habe das Feuer bloſs für eine Qualität, eine *qualitas occulta*, gehalten, was jedoch durch Casatus[2] genügend widerlegt worden ist. Beim Wiedererwachen des Studiums der Natur war man geneigt, die Erscheinungen der Wärme von den Schwingungen der Körperelemente, eigentlicher wohl eines allgemein verbreiteten Aethers, abzuleiten. So ist nach Baco von Verulam[3] die Wärme nichts anders als eine Bewegung der kleinsten Theile der Körper, welche wellenförmig nach auſsen streben, und Cartesius[4] hält dieselbe für die Folge der Bewegung des ersten Elements oder der subtilen Materie. Selbst Newton[5] äuſsert sich so, daſs er mindestens die Glühhitze für einen Zustand der Körper zu halten scheint, in welchem sie vermöge schwingender Bewegungen ihrer Theile Licht aussenden. Auch in andern Aeuſserungen Newton's, namentlich über die Bildung und Verbreitung des Wasserdampfes, könnte man Grund finden zu schlieſsen, daſs er das Feuer oder die Wärme für eine bloſse Kraft der Abstoſsung gehalten habe und ihr Wesen also auf Schwingungen zurückzuführen geneigt gewesen sey, wenn man aber aus der Hauptstelle, worin er seine Versuche über das Verhalten der Wärme im luftleeren Raume erzählt[6], zu schlieſsen sich berechtigt glaubt, daſs er die Meinung Baco's getheilt habe, so kann ich dieses darin

---

1 Vergl. H. A. Lorenz chemisch-physicalische Untersuchung des Feuers. Kopenh. u. Leipz. 1789.

2 Dissert. physica de Igne. Fr. et Leipz. 1688. p. 117.

3 De forma calidi. In dessen Opp. Amst. 1653. 12. oder Works. Lond. 1778. 5 Voll. 4.

4 Princip. Philos. L. IV. art. 29. §. 80.

5 Optice. ed. Clarke. Lond. 1706. 4. Q. 8; 9; 10. Corpora ultra certum gradum calefacta emittunt lumen et splendent, eaque luminis emissio per motus vibrantes partium suarum efficitur.

6 Optice Lib. III. quaest. XVIII.

nicht finden, vielmehr redet er von einem feinen ätherischen Fluidum, dünner als die Luft, welches durch seine Schwingungen sich wirksam zeige. ATHANASIUS KIRCHER[1] verstand schwerlich sich selbst, wenn er im groben Materialismus das Feuer ein dem Schwefel ähnliches Element nannte, und nicht wohl begreiflich sind auch die Ansichten des ROB. BOYLE[2], wonach das Feuer eine ponderabele Materie seyn, die Erscheinungen der Wärme aber auf Schwingungen der Körpertheile beruhn sollen. Daſs übrigens NEWTON eine Wärmematerie angenommen habe, dürfen wir um so weniger bezweifeln, da auch sein Anhänger CHRISTIAN WOLFF[3] ausdrücklich sagt, es gebe eine eigene, überall in den Körpern verbreitete Materie, welche die Erscheinungen der Wärme hervorbringe, statt daſs LOMONOSOW[4] die gesammten Wärmephänomene aus einem *motu gyratorio elementorum corporis* ableitet, wobei er sich vergebens bemüht, die Erzeugung der Kälte durch kaltmachende Mischungen mittelst künstlicher Hypothesen dieser Theorie anzupassen. Einige Gelehrte hielten das Feuer für ein Mittelding zwischen Körper und Kraft, weil sie sich scheuten, die Materialität desselben anzunehmen, zugleich aber die Erscheinungen aus bloſsen Bewegungen abzuleiten nicht vermochten. Dieses ist der Fall bei VAN HELMONT[5], schwerlich aber werden die Anhänger der Bewegungstheorie das Argument des Abbé NOLLET[6] genügend gefunden haben, daſs jede Bewegung in ihrem Fortgange abnehme, das Feuer aber zunehme, wie ein nur an einer kleinen Stelle angezündeter Holzstoſs zeige. BOERHAVE[7] hat für seine Zeit, wo man die eigentliche Wärme von dem, was im Processe des Brennens bedingend wirkt, noch nicht zu scheiden vermochte, die Erscheinungen sehr gut aufgefaſst und aus einem gewissen ätherischen Fluidum mit vielem Scharfsinn erklärt, und auch L. EULER[8], wie sehr er übrigens

---

1 Mundus subterraneus. Amst. 1665. fol. T. I. lib. IV. sect. 1. cap. 2.

2 Historia experimentalis de frigore. Lond. 1665. New experiments and observations touching cold. Works T. II. p. 228.

3 Nützliche Versuche. Th. II. Cap. IX. §. 206.

4 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 206.

5 Opera omn. Frf. 1707. 4. p. 120. §. 24.

6 Leçons de Phys. Leç. XIII. sect. 1.

7 De igne. In Elem. Chem. T. I. p. 116.

8 Diss. de Igne. In Recueil des pièces qui ont remporté le prix. 1738.

Anhänger der Cartesischen Schule war, nahm zur Erklärung der Wärmeerscheinungen einen eigenen ätherischen Stoff an. Unter den bedeutenden Autoritäten, deren Ansichten auf die herrschenden Meinungen ihrer Zeit einen entscheidenden Einfluſs ausübten, muſs vorzugsweise Peter van Musschenbroek[1] genannt werden, welcher sich ganz unzweideutig für einen materiellen Wärmestoff ausspricht. Später äuſsert sich dieser Gelehrte auch deutlicher, indem er die Gewichtszunahme verkalkter Metalle als eine Folge des Zutritts der Wärme betrachtet, die hiernach nicht bloſs materiell, sondern zugleich schwer seyn müſste[2]. Indem sich also die angesehensten Gelehrten der damaligen Zeit, als Boerhave, Nollet, L. Euler, Chr. Wolff und Pet. v. Musschenbroek, für einen materiellen Wärmestoff, eine sogenannte Feuermaterie, erklärten, so können wir hieraus schlieſsen, daſs diese Ansicht die damals allgemein herrschende war, wozu sich auch die übrigen bekannten, wenngleich ihre Aeuſserungen hierüber minder deutlich und bestimmt sind. Dahin gehören namentlich Joh. Heinr. Winkler[3], George Martine[4], Wolfg. Kraft[5], Benj. Franklin[6], Joh. Bernh. Bikker[7], Wilh. Hillary[8], R. L. de Herbert[9] und Andere, welche insgesammt später wegen ihrer specielleren Untersuchungen noch erwähnt zu werden verdienen.

3) Die Frage, ob die Ursache der Wärmephänomene eine materielle Substanz sey, oder bloſs auf Bewegungen der Bestandtheile der Körper beruhe, war für die Gelehrten des vorigen Jahrhunderts keineswegs so einfach, als gegenwärtig die ähnliche über das Wesen des Lichts ist, oder als jene selbst

---

1 Epitome elementorum physico-mathematicorum. L. Bat. 1726. p. 227. Erga ignis constat ex partibus subtilissimis, quae poros omnium solidorum intrare et penetrare possunt.

2 Introductio. T. II. 1578. p. 632.

3 Dissert. de caussis frigoris et glaciei. Lips. 1737. 4.

4 Medical and philosophical Essays. Lond. 1740. Essais sur la construction et comparaison des thermomètres cet. trad. de l'ang. Par. 1751.

5 Comm. Petrop. T. XIV. p. 218.

6 Phil. Works. 5th ed. p. 351.

7 Dissert. de igne. Ultraj. 1756. 4.

8 The nature and laws of fire. Lond. 1760. 8.

9 Dissertatio de Igne. Vienn. 1773. 8. Vergl. An Inquiry into the effects of Heat. Lond. 1770. 8.

sich in späteren Zeiten gestaltet hat, vielmehr wurde sie weit schwieriger und in einem hohen Grade verwirrt durch die Einführung des ebenso dunkeln als unbestimmten Phlogistons. Nach der Mitte des vorletzten Jahrhunderts leitete Joh. Joach. Becher[1] die Erscheinungen des Feuers von einem eigenen Grundstoffe, einer entzündlichen Erde, ab, und seine Nachfolger, namentlich die Chemiker, blieben bei diesem unklaren Begriffe stehen, bis im Anfange des vorigen Jahrhunderts Georg Ernst Stahl[2] darzuthun sich bemühte, dafs es ein eigenthümliches, an eine zarte Erde gebundenes Feuer gebe, welches er *Phlogiston*, *Brennstoff*, nannte. Dieses Phlogiston sollte nach seiner Ansicht an einige, der Verbrennung fähige Körper gebunden seyn und das Verbrennen derselben daher auf einem Freiwerden dieses Stoffes beruhn, anderen Körpern sollte es dagegen fehlen, weswegen diese unverbrennlich seyn mufsten. Es ist nicht der Mühe werth, den Gang der Untersuchungen zu verfolgen, die man auf die nähere Kenntnifs dieses hypothetisch angenommenen und zugleich für so höchst wichtig gehaltenen Stoffes verwandte, vielmehr genügt es blofs im Allgemeinen zu bemerken, dafs sich das Ansehen desselben erhielt, bis Lavoisier[3] die Nichtigkeit aller zu seiner Unterstützung aufgestellter Argumente nachwies und die hiernach benannte *antiphlogistische Chemie* gründete. Zwar bemühte sich F. A. C. Gren[4] zuletzt noch, die Existenz des Phlogistons, welches nach ihm aus einer Vereinigung von gebundener Wärme und Licht bestehen sollte, dadurch zu retten, dafs er demselben eine *negative Schwere* beilegte, um zu erkären, warum verbrannte, also ihres Phlogistons beraubte, Körper eine Vermehrung ihres Gewichtes erhielten, allein diese ungenügende Hypothese wurde sehr bald durch J. T. Mayer widerlegt[5]. Während des lange dauernden Streites über das Wesen des Phlogistons und dessen Verhältnifs zum Feuer, letzteres als

1 Oedipus Chemicus. Frcf. 1664.

2 Zufällige Gedanken und nützliche Bedenken über den Streit von dem sogenannten *Sulphure*. Halle 1718. 8. Experimenta observ. animad. CCC. Berol. 1731. 8.

3 Mém. de l'Acad. 1777. Traité élém. de Chimie. Par. 1789. 8.

4 System. Handbuch der ges. Chemie. Halle 1787. 8. Grundrifs der Naturlehre. Halle 1788. 8. §. 749 ff.

5 Vergl. *Schwere*. Bd. VIII. S. 637.

Ursache aller Wärmeerscheinungen betrachtet, war es kaum möglich, zu genauen Bestimmungen über das Wesen der Wärme zu gelangen, und es ist daher gegenwärtig sehr schwer, aus den Aeufserungen der damaligen Gelehrten zu entnehmen, ob sie das Phlogiston als feine ätherische Substanz für die Wärme selbst oder nur für einen Träger derselben hielten. Zum Glück hat diese Frage blofs historisches Interesse und es genügt daher vollständig, sie nur aus diesem Gesichtspuncte im Allgemeinen zu betrachten. Ein grofses Ansehn erhielt die von Macquer[1] aufgestellte Hypothese, wonach die Lichtmaterie zugleich die Grundlage der Wärme ist, nachdem sie sich mit dem Phlogiston verbunden hat und dann als eigenthümlicher ätherischer Stoff, Feuer genannt, die Eigenschaft der Repulsion im Streben nach Ausdehnung und Flüssigkeit beibehält, während die an die Körper gebundene Wärme durch Erschütterung und Bewegung der kleinsten Theile frei wird. Als eine Verbindung von Licht und einem feinen Stoffe, entweder dem Phlogiston selbst oder einer Grundlage desselben, so dafs letzteres erst aus der vorausgegangenen Verbindung hervorging, betrachteten Pott[2] und Wallerius[3] das Feuer, Weigel[4] und Beaumé[5] dagegen hielten das Feuer für das ursprüngliche Element, welches nach ihnen die Erscheinungen des Lichts und der Wärme erzeugen sollte, statt dafs Joh. Fr. Meyer[6], so weit sich in seine hochtrabenden und verworrenen Aeufserungen ein Sinn bringen läfst, dasselbe für eine Zusammensetzung von Licht, fetter Säure, Erde und Wasser erklärte. C. W. Scheele[7] glaubte im Lichte ein Wesen gefunden zu haben, welches das Brennen und überhaupt Wärmeerscheinungen hervorbringt, weswegen er dasselbe nicht für einfach halten, son-

---

1 Dictionnaire de Chymie, contenant la théorie et la pratique de cette science. Paris 1766. 3 T. 12. sec. éd. 4 T. 8. Uebers. von Leonhardi. Leipz. 1781 bis 1783. 6 T. 8. Neue Aufl. 1788 bis 1791. 7 T. 8.

2 Lithogeognosie. Th. I. S. 66.

3 De materiali differentia luminis et ignis. Lips. 1780.

4 Grundrifs der reinen und angewandten Chemie. Greifsw. 1777. 8.

5 Erläuterte Experimentalchemie. Bd. I. S. 132.

6 Chymische Versuche zur näheren Kenntnifs des ungelöschten Kalchs. Hann. u. Leipz. 1764. 8.

7 Chemische Abhandl. von d. Luft und dem Feuer. Ups. u. Leipz. 1777. 8.

dern vielmehr als eine Verbindung mit einem elementaren Brennbaren betrachten wollte. Wie grofses Aufsehen auch LAVOISIER's[1] classische Arbeiten erregten, welcher die Nichtexistenz des Phlogistons aus entscheidenden Versuchen folgerte, dagegen einen eigenthümlichen Stoff als Grundlage aller Erscheinungen der Wärme und des Lichts annahm, so blieb es doch noch geraume Zeit unmöglich, die eingewurzelten Vorurtheile für das einmal eingeführte Phlogiston gänzlich zu beseitigen. Inzwischen erklärte sich BÜFFON[2] bestimmt gegen die Existenz des Phlogistons und nahm statt dessen einen eigenen Wärmestoff an, wie MARAT[3], welcher aus einer grofsen Reihe mühvoller Versuche folgerte, dafs die von ihm so genannte Feuermaterie oder feurige Flüssigkeit (fluide igné), die aus sehr durchsichtigen, zarten, schweren, höchst beweglichen, äufserst harten und kugelförmigen Theilchen bestehn sollte, welche in den Körpern durch ihre Bewegung die Erscheinungen der Wärme und Flamme erzeugten, von dem Lichte, dem Phlogiston und der Elektricität wesentlich verschieden sey. Die übrigen Folgerungen, welche er hinsichtlich der Wärmetheorie aus seinen Beobachtungen ableitet, sind ganz unhaltbar. Ungleich gehaltreicher und werthvoller sind die Leistungen CRAWFORD's[4] im Gebiete der Wärmelehre, wobei er die durch WILKE, BLACK und IRWIN angestellten Beobachtungen benutzte. Sofern aber hier blofs seine Ansichten über das Wesen der Wärme in Betrachtung kommen, mufs es auffallen, dafs er, ungeachtet seiner schätzbaren Versuche, dennoch die Existenz des Phlogistons annahm, nur sollte dieses ein eigenthümlicher Stoff und dem Feuerstoffe entgegengesetzt seyn, so dafs die Anwesenheit des erstern in den Körpern die Aufnahme des letztern hinderte. Allmälig wurde der Streit nicht

---

1 Mém. sur la combustion. In Mém. de Par. 1777.

2 Supplém. de l'Hist. Nat. ed. 12. T. II. p. 61.

3 Découverte sur le Feu, l'électricité et la lumière. Par. 1779. 8. Uebers. von Weigel. Leipz. 1783. Recherches sur le feu. Par. 1780.

4 Experiments and observations on animal heat and the inflammation of combustible bodies. Lond. 1779. 8. A. CRAWFORD's Vers. u. Beob. über die thier. Wärme und die Entzündung brennbarer Körper mit W. MORGAN's Erinnerungen gegen d. Theorie d. Herrn C. Leipz. 1785. 8. Vergl. LICHTENBERG in ERXLEBEN's Anfangsgr. §. 494. KARSTEN's Anleitung zur gemeinnützigen Kenntnifs d. Natur. Halle 1783. 8.

sowohl über das eigentliche Wesen des Feuers, sofern es die Grundursache aller Wärmeerscheinungen seyn sollte, als vielmehr über die Existenz des Phlogistons und die Richtigkeit des antiphlogistischen Systems geführt. Hierhin gehören unter andern die Untersuchungen von Kirwan[1] nebst den Einwendungen, die den daraus abgeleiteten Folgerungen von den französischen Gelehrten entgegengesetzt wurden[2], die von Scherer[3] und Andern, so wie von Girtanner[4], welcher in Deutschland zuerst als entschiedenster Gegner des Phlogistons und als Anhänger des in Frankreich mit grofsem Beifall aufgenommenen antiphlogistischen Systems auftrat. Einer der beharrlichsten Gegner dieses letztern war J. A. de Luc[5], welcher bis zu seinem Ende dasselbe durch die Phänomene der Wasserbildung in der Atmosphäre zu widerlegen hoffte. Aufserdem stellte derselbe eine neue Theorie über das Wesen und die Wirkungen des Feuers oder der Wärme auf, die er mit mehr Weitschweifigkeit als Gründlichkeit auf die verschiedenen Erscheinungen anwandte[6]. Im Allgemeinen unterscheidet er Dünste und Luftarten, welche beide aus einem fortleitenden Fluidum (fluide déférent) und einer ponderabelen Grundlage (substance purement grave) bestehn sollen, mit dem Unter-

---

1 Physisch-chemische Schriften. A. d. Engl. von L. Crell. Bd. I. St. I. u. II. Berl. u. Stett. 1785.

2 Essay sur le Phlogistique, traduit de l'Anglais de M. Kirwan avec des notes de MM. de Morveau, Lavoisier et de la Place etc. Par. 1788. Antiphlogistische Anmerkungen des Herrn de Morveau u. s. w., nebst Kirwan's Replik und der Duplik der franz. Chemiker. A. d. Fr. u. Engl. von Dr. Fr. Wolff. Berl. 1791. 8.

3 Scrutinium hypotheseos principii inflammabilis. In Jacquin Collect. T. IV. J. A. Scherer genaue Prüfung der Hypothese vom Brennstoff. A. d. Lat. von K. Bretfeld. Prag 1793. 8.

4 Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie. Berl. 1792. 8. S. 462.

5 Gren's Journ. der Physik. Th. VII. S. 105. Journ. de Phys. T. XXXVII. p. 52.

6 Neue Ideen über die Meteorologie. Berl. u. Stett. 1787. 8. Th. I. §. 115 ff. Diese und die übrigen älteren Theorieen findet man zusammengestellt in: Lampadius kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorieen des Feuers u. s. w. Gött. 1793. 8. Ursprünglich findet sich diese Theorie schon in: De Luc Lettres sur l'histoire de la terre et de l'homme. T. V. p. 561. Mit Bemerkungen von Pictet in Leipz. Samml. Th. II. S. 643.

schiede, dafs die Dünste durch blofsen Druck eine Trennung dieser beiden Bestandtheile erleiden, die Luftarten aber auf einer weit innigern Verbindung derselben beruhn und daher viel beständiger sind, weswegen sich bei den Dünsten das fortleitende Fluidum von selbst frei macht, um sein Gleichgewicht wieder herzustellen, dagegen aber der schweren Grundlage mehr ausdehnende Kraft giebt, vorzüglich wenn es in gröfserer Menge darin vorhanden ist. Beim Feuer ist die fortleitende Flüssigkeit das Licht, die ponderabele Substanz eine gewisse Feuermaterie, welche jedoch für sich allein nicht darstellbar und daher ganz unbekannt ist. Durch die Verbindung mit der Feuermaterie verliert das Licht seine Kraft zu leuchten, gewinnt dagegen eine andere, nämlich zu wärmen. Ueberschreitet das Feuer eine gewisse Dichtigkeit, so trennt sich die Lichtmaterie von selbst und es erfolgt das Glühen, welches bis zum Weifsglühen zunimmt, wobei alles Licht von dem zweiten Bestandtheile getrennt wird. Die Sonnenstrahlen sind demnach nicht an sich warm, sondern sie erhalten diese Eigenschaft erst durch ihre Verbindung mit der in den Körpern enthaltenen Feuermaterie[1].

4) Unter die gewiegtesten Gegner der antiphlogistischen Chemie gehört vorzugsweise Dr. Richter[2]. Dieser setzte den aufgestellten Argumenten entgegen, dafs sie nicht unmittelbar aus den Erfahrungen entnommen, sondern aus Folgerungen abgeleitet seyen, zu denen die Erfahrungen nicht berechtigten. Wenn das Verbrennen der Körper als Folge einer auf einfacher Wahlverwandtschaft beruhenden Verbindung der verbrennlichen Substanz mit Sauerstoff unter Ausscheidung von Wärme betrachtet werde, so genüge dieses der Erfahrung nicht, da offenbar eine vierte Potenz, das Licht, sich dabei zeige, wonach also mit weit gröfserer Wahrscheinlichkeit noch eine Materie anzunehmen sey, die mit Wärme verbunden als Licht zum Vorschein komme und welche man nicht wohl mit Wärme für identisch halten könne.

---

1 De Luc stützt seine Theorie hauptsächlich auf die durch Pictet angestellten, oben Th. IX. S. 345 erwähnten Versuche. S. De Luc Lettres sur l'histoire de la Terre et de l'homme. T. V. p.561. Vergl. Leipz. Samml. Th. II. S. 643.

2 Ueber die neueren Gegenstände der Chemie. Bresl. u. Hirschb. 1793. 8. St. 3.

Der Verbrennungsprocefs deute also vielmehr auf eine doppelte Wahlverwandtschaft, sofern man annehmen müsse, dafs die brennbaren Körper aus einer säurefähigen Grundlage und aus Brennstoff oder Phlogiston beständen, welche letztere Substanz mit Wärme verbunden als Licht zum Vorschein komme und deren Existenz sich den Erfahrungen gemäfs ebenso wenig wegleugnen lasse, als die des Wärmestoffes. Mit dieser Hypothese erklärt Richter leicht und consequent alle die vorzüglichsten Erscheinungen, worauf die Antiphlogistiker ihr System gründeten; genau genommen liegt jedoch in seiner Darstellung weit mehr Hypothetisches, als die Gegner sich erlaubten. Letztere blieben bei den einfachen Thatsachen stehen, indem sie nichts weiter als eine nach genau bestimmten quantitativen Verhältnissen statt findende Verbindung des Sauerstoffs mit den säurefähigen Grundlagen annahmen, die gleichzeitig statt findende Ausscheidung oder Erzeugung der Wärme mit oder ohne Entbindung von Licht aber einstweilen unerklärt liefsen oder an eine specielle Untersuchung verwiesen, statt dafs Richter das Vorhandenseyn der Wärme gleichfalls annahm und aufserdem, ganz hypothetisch, einen Brennstoff einschob, so wie den unbegründeten Satz, dafs eine Verbindung desselben mit Wärme die Erzeugung von Licht bedinge, ohne dabei nur nachzuweisen, warum letzteres in so vielen Fällen nicht zum Vorschein kommt.

5) Ungefähr um die Mitte des vorigen Jahrhunderts behandelte Adair Crawford die Wärmephänomene mit gröfserer Ausführlichkeit und bemühte sich, dieselben mehr zu ordnen und auf bestimmte Gesetze zurückzuführen, wobei er zwar vielen Widerspruch fand, inzwischen erhielt sich doch seine Theorie, bis sie in den neuesten Zeiten durch die zahlreichsten Untersuchungen eine veränderte Gestalt angenommen hat oder vielmehr vielfach bedeutend modificirt in ihrer Gesammtheit nicht weiter beachtet wird. Manche Gegner Crawford's haben ihm vorgeworfen, die wichtigsten Versuche, worauf seine Theorie beruht, seyen nicht von ihm selbst, allein dieses hat derselbe auch nie behauptet, ihm gebührt aber dennoch das Verdienst, das Ganze zu einem in sich consequenten Systeme geordnet zu haben. Die Hauptsache bei ihm war eigentlich, die specifische Wärmecapacität der verschiedenen Körper und das Latentwerden des Wärmestoffes genau zu erken-

nen, wodurch die sämmtlichen Erscheinungen ganz ausnehmend modificirt werden. Schon im Winter 1754 bemerkte DE LUC[1], daſs Thermometer in Eis eingeschlossen, welches in Trinkgläsern langsam schmolz, nicht stiegen, und wurde hierdurch auf das Latentwerden der Wärme geführt. Wenige Jahre nachher will BLACK[2] von ähnlichen, erst später bekannt gewordenen, Versuchen in seinen Vorlesungen geredet haben; gewiſs aber ist, daſs er später mit IRVINE[3] Versuche mit Wasser und Quecksilber anstellte und dadurch nicht bloſs die ungleiche specifische Wärmecapacität der verschiedenen Körper auffand, sondern sie auch bei den genannten Substanzen bestimmte[4]. Diese Thatsachen waren damals, wie auch noch jetzt, die triftigsten Beweise eines materiellen Wärmestoffes, welcher nach quantitativen Verhältnissen gemessen werden kann und nach eben diesen bei verschiedenen Veränderungen gebunden und bei andern wieder frei wird, weswegen auch MARAT[5] bei seinen mehr weitschweifigen als gründlichen, auch damals schon mancher Berichtigungen bedürfenden Untersuchungen sich zu dieser Hypothese bekennt. Am ausführlichsten und gründlichsten aber wurde diese Aufgabe durch WILKE[6] behandelt, welcher im Jahre 1772 zuerst seine Erfahrungen über das Latentwerden des Wärmestoffes bekannt machte, die er aus der auffallenden Erscheinung entnahm, daſs heiſses Wasser auf Eis von 0° C. gegossen nicht diejenige Wärme der Mischung erzeugte, die es nach RICHMANN's Regel erhalten muſste, sondern bei gleichen Massen beider Substanzen 72° C. Wärme verlor, die durch das Schmelzen des Eises latent wurden. Durch dieses ihm auffallende Verhalten aufmerksam gemacht,

---

1 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 438.

2 Journ. de Phys. Ann. 1773. p. 165. Crell's neueste Entdeckungen. Th. IX. S. 218.

3 Chemical Essays.

4 MAGELLAN Essay sur la nouvelle Théorie du feu élémentaire et de la chaleur des corps cet. Lond. 1780. 4. J. H. v. MAGELLAN physicalisch-math. Abhandl. vom Jahr 1779 u. 1780. Leipz. 1781. 8.

5 Sur le Feu, l'électricité et la lumière cet. sec. éd. Par. 1779. 8. Ausführlicher in Recherches physiques sur le Feu. Par. 1780. 8. Deutsch mit Anm. von WEIGEL. Leipz. 1782.

6 Kongl. Vetensk. Acad. Nya Handl. 1781. T. II. p. 49 ff. Neue schwed. Abh. Uebers. von KÄSTNER. Th. II. Schwed. Abh. Th. XXXIV. S. 93.

untersuchte er sofort auch die specifischen Wärmecapacitäten der verschiedenen Körper. Nachdem er nämlich gefunden, dafs die beim Schmelzen des Schnees latent werdende Wärme 72° C. betrage, wollte er die in den verschiedenen Körpern vorhandene Wärme aus der Menge des durch sie geschmolzenen Schnees nach demselben Principe bestimmen, welches nachher Lavoisier und Laplace bei ihrem *Calorimeter* in Anwendung brachten; allein der Schnee verschluckte das geschmolzene Wasser, und machte hierdurch eine genaue Messung unmöglich, weswegen er in der Folge eiskaltes Wasser nahm, die Wärme mafs, welche die Körper darin erzeugten, hieraus berechnete, wie viel Eis dadurch schmelzen würde, und auf diese Weise indirect die specifische Wärme der Körper bestimmte.

Dieses war bereits vorausgegangen und mochte wohl mindestens grofsentheils zu Crawford's Kenntnifs gelangt seyn, als dieser im J. 1777 seine Versuche zu Glasgow anstellte und seine allgemein bekannt gewordene und viel Aufsehn erregende Theorie darauf gründete. Sie wurde in ihren wesentlichsten Elementen zuerst bekannt durch eine kürzere Schrift[1], die nachher in einer zweiten Auflage[2] verschiedene Erweiterungen erhielt. Am meisten diente zur Verbreitung derselben eine kurze Darstellung, die J. G. Magellan[3] davon lieferte, und die meistens sehr unerheblichen Einwendungen, welche Morgan[4] dagegen aufstellte, konnten den Beifall nicht vermindern, welchen sie sehr allgemein erhielt. Bei allen in der damaligen und der nächstfolgenden Zeit über diesen Gegenstand erschienenen Werken und Abhandlungen, namentlich von Scopoli und Volta[5],

1 Experiments and observations on animal Heat and the inflammation of combustible bodies cet. Lond. 1778.

2 A. Crawford's Experiments and observations on animal Heat and the inflammation of combustible bodies. Lond. 1788. 8. Uebers. von Crell. Leipz. 1789. 8.

3 Essay sur la nouvelle Théorie du feu élémentaire et de la chaleur des corps. Lond. 1780. 4. Versuch über die neue Theorie vom Elementarfeuer und der Wärme der Körper. Leipz. 1782. 8.

4 An examination of Dr. Crawford's Theorie of Heat and combustion. Lond. 1781. Adair Crawford's Versuche und Beob. u. s. w. mit W. Morgan's Erinnerungen wider die Theorie des Herrn Crawford. Leipz. 1785. 8.

5 Crell's neueste Entdeckungen in der Chymie. Th. XII. S. 1 ff.

Soycourt[1], C. R. Hopson[2], Leop. Vacca Berlinghieri[3], Marsigli Landriani[4], Du Tasta la Serre[5], Giovacchino Carradori[6], Franz Xaver Baader[7], Joseph Weber[8] und vielen Andern[9], wurde diese Theorie berücksichtigt und im Ganzen mit Beifall aufgenommen, wenngleich andere Gelehrte Zweifel dagegen erhoben, wie namentlich Gren[10], zum Theil um das beliebte Phlogiston zu retten oder es der neuen Theorie aufzudringen, noch andere aber, wie namentlich Lichtenberg[11] und Joh. Tob. Mayer[12], sie in einer durch richtige Würdigung der zum Grunde liegenden und später aufgefundenen Thatsachen modificirten Gestalt darstellten.

Eine vollständige Mittheilung der *Crawford'schen Theorie* würde jetzt nicht mehr von genügendem Interesse seyn, und es ist daher hinreichend, nur die Hauptelemente anzugeben. Hiernach heifst Hitze oder Feuer die physische Ursache aller der Erscheinungen, die wir jetzt als Folgen der Wärme betrachten, und wenngleich nicht ausdrücklich gesagt wird, dafs diese Ursache materiell sey, so liegt dieses doch entschieden genug in der ganzen Darstellung, um jeden Zweifel dagegen abzu-

---

Auch in Macquer's chemischem Wörterbuche. Ital. Ausgabe. Art. Calore.

1 Ueber die Versuche zum Beweise einer latenten Wärme. Aus d. Franz. Quedlinb. 1790.

2 An Essay on Fire. Lond. 1781. 8.

3 Esame della Teoria del Calore del celebre Inglese Crawford cet. Pisa 1787. 4.

4 Opusc. fisico-chem. p. 81.

5 La Théorie du feu avec son application au corps humain. Avignon 1788.

6 La Teoria del Calore. Firenze 1787. 2 T.

7 Vom Wärmestoff, seiner Vertheilung, Bindung und Entbindung u. s. w. Wien u. Leipz. 1786. 4.

8 Ueber das Feuer. Landsh. 1788. 8.

9 Abhandlungen über d. Wärme. In Crell's neuesten Entdeckungen. Th. XII. Vergl. Karsten's Anleitung zur gemeinnützigen Kenntnifs der Natur. Halle 1783. S. 601.

10 Dessen Journal d. Physik. Th. I. S. 1 ff.

11 J. C. P. Erxleben Anfangsgründe d. Naturlehre. 6te Aufl. 1794. S. 432.

12 Ueber die Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. Erl. 1791. Hierin ist dieser Gegenstand am ausführlichsten und gründlichsten behandelt.

schneiden. Diese Hitze, an sich betrachtet und ohne Rücksicht auf die durch sie erzeugten Veränderungen in den Körpern, nennt CRAWFORD *absolute Hitze* (absolute Heat), in Beziehung auf die Wirkungen aber, die sie erzeugt und durch die sie gemessen wird, heifst sie ihm *relative Hitze* (relative Heat). Die letztere zeigt sich unter drei Modificationen, zuerst als solche, die empfunden wird (*sensible Heat*), dann als solche, die das Volumen der Körper vermehrt, somit also durch das Thermometer gemessen werden kann (*Temperature of Heat*), und endlich als solche, die bei gleichen Massen und Temperaturen der Körper dennoch eine verschiedene Quantität vorhandener absoluter Wärme voraussetzt (*comparative Heat*), wonach die Körper eine ungleiche Capacität der Wärme haben. Eine blofse Uebersicht dieser Sätze ergiebt bald, dafs man alle Erscheinungen der freien, relativen (nach WILKE besser specifischen) und latenten Wärme leicht auf dieselben zurückbringen kann.

6) Die Untersuchungen über das Verhalten der Wärme, so wie auch das Wesen und die Modificationen derselben, wurden zu jener Zeit mit denen über den Sauerstoff als Bedingung des Verbrennens, der thierischen Wärme und des Keimens der Gewächse verschmolzen, wobei aber allezeit ein materieller Wärmestoff angenommen wurde und nur das Bestreben vorherrschte, die verschiedenen Erscheinungen dieser Hypothese anzupassen. LICHTENBERG[1], damals unzweifelhaft eine grofse Autorität, erklärt sich hierüber ohne Rückhalt, indem er mifsbilligend bemerkt, dafs CRAWFORD eine entschiedene Beantwortung zu umgehen suche, obgleich seine Meinung darüber nicht zweifelhaft sey, er selbst es aber für besser halte, die Behauptung über die wirkliche Existenz eines materiellen Wärmestoffes bestimmt auszusprechen. Nicht grofsen Beifall fand die in das ganze Gebiet der Naturlehre tief eingreifende Theorie, welche J. H. VOIGT[2] aufstellte, wonach unter den allen Körpern und deren Veränderungen zum Grunde liegenden 12 einfachen und für sich bestehenden Stoffen zwei zum Brennen, einer für das Licht, zwei für die Elektricität und zwei

---

1 ERXLEBEN's Naturlehre. 6te Aufl. S. 434.

2 Versuch einer neuen Theorie des Feuers u. s. w. Jena 1793. Vergl. Gren's neues Journ. Th. III. S. 235.

für den Magnetismus gehören, wobei er das Phlogiston unter gewissen Modificationen zu retten sucht und als den einen, bei den Erscheinungen der Wärme thätigen Bestandtheil annimmt. Es verlohnt sich nicht der Mühe, diese Hypothese ausführlicher zu prüfen, inzwischen geht aus dem hier Mitgetheilten so viel hervor, dafs auf jeden Fall die Mehrheit der Physiker, bis ans Ende des vorigen Jahrhunderts, die Wärmephänomene auf einen gewissen materiellen Grundstoff zurückzuführen bemüht war, denn auch Pictet[1], ein in diesem Zweige als classisch geltender Schriftsteller, erklärt die Ursache der Wärmephänomene für einen materiellen Stoff, den man am besten durch das französische Wort *Calorique* bezeichnen könne.

7) Die in diese letztere Zeit fallenden Versuche und darauf gebaueten Schlüsse des Colonel Benjamin Thompson, nachherigen Grafen Rumford, bilden einen wichtigen Abschnitt in der Geschichte der Meinungen über das Wesen der Wärme. Seine schon im J. 1778 angestellten bekannten Versuche über die Kraft des Schiefspulvers[2] führten ihn zu der Wahrnehmung, dafs ein Schufs ohne Kugel das Geschütz stärker erwärmt, als mit derselben, und da man gerade das Gegentheil erwarten sollte, sofern das Fortschleudern der Kugel in Folge ihres Widerstandes das heifse Gas eine längere Zeit im Laufe zurückhält, so beschlofs er, das Wesen und das Verhalten der Wärme einer näheren Untersuchung zu unterwerfen, und zwar um so mehr, je weniger er die beobachtete Erscheinung mit der Hypothese eines *Calorique* in Einklang zu bringen wufste. In seinen Untersuchungen über die specifische Wärmecapacität der Körper unterbrochen, und da diese unterdefs durch Wilke auf genügende Weise angestellt worden waren, wandte er sich zunächst zu dem Problem, die Gesetze des Durchganges der Wärme durch den leeren und erfüllten Raum auszumitteln[3]. Einen weiteren wichtigen Beitrag zur Begründung seiner Wärmetheorie entnahm Rumford aus den Resultaten der im grofsen Mafsstabe angestellten Versuche über die Hitze, welche in geriebenen

1 Versuch über das Feuer. Aus d. Franz. Tüb. 1790. §. 3.

2 Philos. Trans. T. LXXI. Philosophical Papers. Lond. 1802. Mémoires sur la Chaleur. Par. Ann. XIII. (1804.)

3 New Experiments upon Heat. Lond. 1786. Philos. Trans. T. XXVI. u. LXXXIII. Gren Journ. Th. VII. S. 245.

Körpern erzeugt wird[1]. Er bediente sich hierbei der unter seiner Aufsicht stehenden Kanonenbohrmaschine zu München und wählte zum geriebenen Körper einen sogenannten *verlorenen Kopf*[2] von einem Sechspfünder. Hieraus liefs er einen 9,8 Z. langen, 7,75 Z. dicken Cylinder drehen, diesen alsdann mit einem gewöhnlichen Bohrer 7,2 Z. tief und 3,7 Z. weit ausbohren, während er durch einen kleinen Hals mit der Kanone zusammenhing, und also mit letzterer zugleich in horizontaler Lage um ihre gemeinschaftliche Axe gedreht werden konnte. In die Oeffnung wurde dann ein absichtlich stumpf gemachter Stahlbohrer gebracht, der sie fast genau ausfüllte, und indem dieser zur Verstärkung der Friction einen Druck von etwa 10000 Pfund ausübte, machte die Kanone 32 Umdrehungen um ihre Axe in einer Minute. Der hohle Metallcylinder hatte eine Masse von 385,75 engl. Kubikzoll und wog 113,13 engl. Pfund; in seiner Seite war ein 4,2 Z. tiefes Loch eingebohrt, um ein Thermometer zum Messen der Temperatur einzusenken. Nach 30 Minuten und 960 Umdrehungen war die Wärme von 15°,6 C. bis 54°,5 C. vermehrt und die 837 Gran abgeriebener schuppiger Metallspähne zeigten keine Spur von Oxydirung, auch nahm die Wärme bei Fortsetzung der Versuche fortwährend ohne ein Versiegen ihrer Quelle zu. Ebendieses Resultat gab ein zweiter Versuch, bei welchem um die vierkantige eiserne Stange des Bohrers ein die Mündung des hohlen Cylinders genau verschliefsender Cylinder gelegt war, damit der äufsern Luft der Zutritt zur innern Höhlung abgeschnitten würde. Noch interessanter war das Resultat eines dritten Versuches, wobei der Bohrapparat sich in einem mit Wasser gefüllten hölzernen Kasten befand, durch dessen eine Seitenwand das Verbindungsstück, welches den hohlen Cylinder an der Kanone festhielt, wasserdicht hindurchging. Die Menge des Wassers betrug 18,77 Pfund, und es stieg nach einer Stunde von 15°,6

---

1 Philos. Trans. 1798. P. I. p. 80 ff. Journ. de Phys. T. XLVII. p. 24. Experimental Essays. Ess. IX. In diesen nach und nach erschienenen Essays finden sich die sämmtlichen hierher gehörigen Untersuchungen Rumford's. Die gesammten XV Essays machen 3 Bde.

2 So nennt man ein massives Metallstück, welches an der Mündung der Kanone, damit diese nicht porös wird, angegossen und nachher weggesägt zu werden pflegt.

C. auf 41°,7, nach 1,5 Stunden auf 60°,6, nach 2 Stunden auf 81°, nach 2 Stunden 20 Min. auf 93°,4, und fing nach 2,5 Stunden an zu sieden[1]. Als nachher bei der Wiederholung dieses Versuches der Stopfer, welcher die Oeffnung des Cylinders verschlofs, weggenommen, und dem Wasser freier Zutritt in das Innere des Cylinders gestattet wurde, änderte dieses das Resultat nicht wesentlich. Rumford argumentirte daher, die hierbei entstandene Wärme könne nicht aus den wenigen Bohrspähnen, noch aus dem Wasser entwickelt, auch nicht durch die eiserne Bohrstange oder den kleinen Hals an der Kanone zugeleitet worden seyn, indem diese Theile vielmehr stets Wärme abführten, und da aufserdem die Quelle der Wärme nie versiege, so müsse man es aufgeben, sie für ein materielles Wesen zu halten, und sie vielmehr als eine blofse Bewegung betrachten. Man soll demnach die Erzeugung der Wärme mit der des Schalles vergleichen, sofern eine geschlagene Campane anhaltend tönt. Berthollet[2] erklärte sich gegen diese Folgerungen und leitete die entstandene Wärme aus einer Zusammendrückung des Metalles ab, wodurch aber so viel Wärme entbunden werde, als welche im Stande seyn würde, das Volumen des geriebenen Körpers um ebenso viel zu vergröfsern, als es durch das Reiben vermöge des starken Druckes vermindert wurde, und eine leichte Berechnung ergiebt, dafs die hierzu erforderliche Erhöhung der Temperatur leicht die wahrgenommenen Erscheinungen hervorbringen konnte, allein Rumford setzt dieser Argumentation entgegen, dafs dann die Wärme durch den angewandten Druck plötzlich im Maximum erzeugt worden seyn müfste, und mit noch mehrerem Grunde, dafs dann die Wärmequelle nicht unerschöpflich seyn könne. Wäre die Reibung so lange fortgesetzt worden, um die gesammte Metallmasse von 113,13 Pfund in Spähne zu verwandeln, so würde dadurch eine Wärmemenge erzeugt worden seyn, genügend um mit Rücksicht auf die spec. Wärme 46165 Pfund des Metalles vom Frostpuncte bis zum Siedepuncte zu erwärmen oder auch eine sechzehnmal so grofse

---

1 Die Menge der erzeugten Wärme wächst mit der Geschwindigkeit der Reibung und der Stärke des Druckes; bei diesem Versuche setzt sie Rumford derjenigen gleich, welche neun brennende Wachskerzen geben. S. Mémoires. p. XXXVI.

2 Essay de Chimie statique. Par. 1803.

Metallmasse zu schmelzen, als welche beim Versuche in Anwendung gebracht wurde.

Bald nachher, im Jahre 1800, wiederholte Rumford zu Edinburg in Gemeinschaft mit Hope, Playfair und Struvart die bekannten Versuche von Pictet mit Hohlspiegeln, in deren Brennpuncten sich Eis und ein Thermometer befanden, und glaubte auch hierbei die Erzeugung der Wärme ganz ähnlich der eines Tones zu finden. Nach Beendigung der Versuche über die Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen, welche demnächst zu erwähnen sind, wandte sich Rumford im Jahre 1803 zur Untersuchung des Ausstrahlungsvermögens verschiedener Oberflächen, und zeigte im folgenden Jahre zu Paris die Resultate derselben den Mitgliedern des Instituts, um damit die Hypothese von der Existenz eines Wärmestoffes gänzlich zu widerlegen[1]. Mit Uebergehung der demnächst näher zu erörternden Versuche verdient hier bloſs bemerkt zu werden, daſs in Gemäſsheit aller dieser Untersuchungen Rumford die gesammten Wärmephänomene auf Strahlungen zurückführen wollte und diesemnach sowohl *Wärme*- als auch *Kältestrahlen* (Rayons calorifiques et frigorifiques) annahm, beide den Schallwellen ähnlich, und zwar so, daſs sich diese Strahlen von gröſserer oder geringerer Intensität so von einander unterscheiden, als diejenigen, welche einem höhern oder tiefern Tone zugehören, eine Vergleichung, die auf jeden Fall unzulässig ist, sofern sich bei den Schallwellen wohl ein Unterschied, aber kein eigentlicher Gegensatz findet, wie bei der Annahme von Wärme- und Kältestrahlen nothwendig gestattet werden müſste.

8) Nicht viel später als Rumford trat ein anderer, in der Folge so berühmt gewordener Gelehrter als Vertheidiger der Vibrationstheorie oder vielmehr als Gegner eines eigenthümlichen Wärmestoffes auf. Humphry Davy eröffnete seine gelehrte Laufbahn mit einer Abhandlung über das Wesen der Wärme und des Lichts[2], worin er die Materialität des Lichtes zu erweisen, die der Wärme aber zu widerlegen bemüht war.

---

1 Vergl. G. XVII. 33 u. 213.

2 Essay on Heat, Light and the Combinations of Light. In Contributions to physical and medical knowledge, collected by Th. Beddoes. Bristol 1799. T. I. p. 1.

Berücksichtigen wir zunächst nur seine Ansichten über das Wesen der Wärme, so gehn diese von der, hauptsächlich durch La Place vertheidigten, Hypothese eines Conflictes zweier in allen Körpern thätigen Kräfte aus, einer anziehenden und einer abstoſsenden, die durch ihren Gegensatz den beharrenden Zustand eines bleibenden Gleichgewichts (*équilibre stable*) erzeugen. Indem aber alle Körper durch Wärme ausgedehnt werden, und zwar so ziemlich den Zunahmen derselben proportional, so soll dieses zu dem Schlusse führen, daſs eben die Wärme dasjenige Etwas sey, wovon die Repulsion in der Materie herrrührt. Nehme man einen Wärmestoff als Ursache der Repulsion an, so sey damit nicht nachgewiesen, woher derselbe diese Eigenschaft erhalte, und es werde dabei unlogisch die Repulsion und Elasticität durch Repulsion und Elasticität erklärt.

Sicher waren es nicht sowohl diese allzuwenig haltbaren theoretischen Gründe, welche H. Davy bewogen, die Materialität der Wärme zu bestreiten, als vielmehr die erwähnten Versuche Rumford's, die er selbst zum Theil mit einigen Modificationen wiederholte und wobei er argumentirte, daſs nach der Hypothese eines materiellen Wärmestoffes der Ursprung der dadurch erzeugten Hitze auf keine Weise aufzufinden sey, weil weder eine verminderte Wärmecapacität, noch eine Art der Verbrennung durch Aufnahme des umgebenden Sauerstoffgases, noch auch eine Zuleitung von andern Körpern dabei statt finde. Bei seinen Versuchen wurde Eis an Eis gerieben und dadurch zum Schmelzen gebracht, indem zugleich das dadurch erhaltene Wasser ungeachtet seiner gröſseren Wärmecapacität doch eine erhöhete Temperatur zeigte. Ein eigens construirter Apparat diente dazu, um unter einen exantlirten, durch einige Tropfen vorher hineingebrachtes, im Vacuum verdampfendes Wasser völlig luftleer gemachten Recipienten ein metallenes Rad an einem Metallblech reiben zu lassen. Um die letzten Spuren des als Ursache der Erwärmung von den Antiphlogistikern betrachteten Sauerstoffgases der etwa zurückbleibenden atmosphärischen Luft wegzuschaffen, war der Recipient vorher mit Kohlensäure gefüllt und während der Reibung mit Eis umgeben worden, damit keine Wärme von auſsen eindränge; die erzeugte, Wachs zum Schmelzen bringende Wärme war also aus dem 0,5 ℔. betragenden Metalle entwickelt, woraus folgt, daſs sie

kein materieller Stoff seyn könne, sondern von einer besondern Bewegung der Körpertheilchen herrühren müsse.

Wegen der grofsen Celebrität, welche H. Davy später erlangt hat, ist es wohl der Mühe werth, die Hauptsätze seiner Wärmetheorie kurz zu erwähnen, die zwar unter sich Zusammenhang haben, dennoch aber einigen Zwang und manche Inconsequenzen nicht verkennen lassen. Wärme ist nach ihm die Kraft, welche die durch Attraction bedingte innige Berührung der Körperelemente hindert, und die Empfindung derselben, so wie ihres Gegentheils, der Kälte, besteht in einer eigenen Art von Bewegung, wahrscheinlich einer Vibration der kleinsten Körpertheile, die mit Grunde *repulsive Bewegung* genannt werden kann. Wenn diese letztere aber der planetarischen Centrifugalkraft analog seyn soll, wie die Attraction der Centripetalkraft, so ersieht man hieraus, dafs bei der Hypothese eine hinlänglich scharfe Bestimmung der Begriffe fehlte. Leicht war es übrigens, wenn man es mit dem innern nothwendigen Zusammenhange zwischen Ursache und Wirkung nicht sehr genau nimmt, eine Menge Thatsachen mit anscheinender Consequenz an sie zu knüpfen. So folgt der verschiedene Aggregatzustand der Körper von selbst aus der ungleichen Wirksamkeit der beiden Kräfte, beim Lichte aber soll die Repulsion so sehr überwiegend seyn, dafs ohne mefsbaren Einflufs der Attraction die Theilchen sich mit der gröfsten Schnelligkeit und ins Unendliche von einander trennen, was *repulsive Projection* genannt wird. Die Uebergänge aus einem Aggregatzustande in einen andern beruhn auf einer Veränderung des gegenseitigen Verhältnisses der beiden Grundkräfte, deren eine, die Repulsion, erregt oder vermehrt wird 1) durch Reiben oder Stofsen, wobei die mechanische Bewegung, welche die Massen bei ihrem Aneinanderreiben verlieren, in repulsive Kraft verwandelt wird; 2) durch die Bewegung chemischer Verbindungen und 3) durch Mittheilung repulsiver Bewegung von benachbarten Körpern. Alle aus dem verschiedenen Verhalten der Wärme folgende Erscheinungen, unter denen man jedoch gerade die entscheidendste, nämlich die des latenten Wärmestoffes vermifst, fügen sich dann leicht der Hypothese, sobald man die angenommene Bewegung als eine wirkliche, quantitativ wachsende und abnehmende Gröfse betrachtet, mithin ihr unvermerkt die Wesenheit der Materialität unterschiebt. Vorzugsweise findet

Davy die Annahme eines Wärmestoffs am absurdesten, wenn die Verpuffungen daraus erklärt werden sollen, denn namentlich beim Schiefspulver müfsten die Wärmecapacitäten des Kali, des Azotes und der Kohlensäure geringer seyn, als die der Kohle und des Salpeters, um die Entbindung der Wärme zu erklären, da doch seine Versuche hierüber gerade das Gegentheil ergäben.

9) Allerdings giebt es verschiedene, demnächst näher zu untersuchende und zu würdigende Wärmephänomene, welche aus der Annahme eines eigenthümlichen Stoffes noch keineswegs hinlänglich erklärt worden sind und sich einer Erklärung aus diesem Principe auf keine Weise fügen, sobald man dabei nichts weiter, als eine Vertheilung und ein Uebergehn nach quantitativen Verhältnissen mit Rücksicht auf die verschiedenen Capacitäten der Körper zum Grunde legt; allein alle die verschiedenen Phänomene aus blofser Bewegung abzuleiten, wie durch Davy und noch neuerdings durch Mohr [1] mit specieller und allerdings sinnreicher Anwendung auf die einzelnen Erscheinungen geschehen ist, heifst im Grunde nicht mehr, als etwas Unbekanntes auf ein unbekanntes, dem eigentlichen Begriffe nach keineswegs genau bestimmtes Wort zurückführen. Soll zuerst, wie dieses durch Davy mindestens angedeutet wird, die Wärme eine repulsive, der Anziehung entgegenwirkende Kraft seyn, so liegen hierbei durchaus unklare Begriffe zum Grunde. Die Anziehung, deren Aeufserungen wir bei allem Materiellen wahrnehmen, ist der Materie allgemein eigen, sie ist eine ihr angehörige, stets wirksame Kraft, welcher zwar entgegengewirkt und die eben hierdurch geschwächt und gänzlich überwunden werden kann, die aber dennoch niemals weder zu seyn noch zu wirken aufhört, und die daher, mit Rücksicht auf ihre anscheinende Ungleichheit bei den verschiedenen Stoffen, an sich und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit stets die nämliche, also im eigentlichen Sinne eine stetig wirkende Kraft ist. Sollte ihr eine andere gleiche, aber entgegengesetzte Kraft entgegenwir-

1 Baumgartner's und v. Holger's Zeitschr. Th. V. S. 419. Auch Bordenave betrachtet die Wärme als Folge der Bewegung der Körperelemente. S. Journ. de Phys. T. IV. p. 104. Verschiedene Andere, die dieser Ansicht huldigen, liefsen sich gleichfalls noch namhaft machen.

ken, so würden beide sich in der hieraus erwachsenden Differenz ausgleichen; es würde nur diese letztere bleiben, und die mannigfaltigen Veränderungen und Wechsel, die wir durch die Wärme erzeugt sehn, ständen ohne allen genügenden Grund da[1], denn die Abstoſsung müſste gleichfalls eine stetig wirkende Kraft seyn, und es wäre auſserdem eine *petitio principii*, die Aeuſserungen derselben als durch die Empfindung wahrnehmbar anzunehmen. Abstrahirt man hiervon, und will man die Wärmephänomene auf Bewegung zurückführen, wozu meistens das Verhalten des Schalles und des Lichts Veranlassung geben, so wird hierbei sogleich im Eingange übersehn, daſs eine solche Bewegung nothwendig eine Ursache haben muſs, welche nach allgemeinen mechanischen Principien der Wirkung proportional seyn, auſserdem aber allmälig abnehmen und zuletzt aufhören muſs, was dann der Erfahrung zuwider den absoluten Nullpunct der Wärme herbeiführen müſste, es sey denn, daſs man mit Cartesius eine von Ewigkeit gegebene und stets fortdauernde, nach dem jederzeitigen Bedürfniſs einer Erklärung als vermehrt oder vermindert vorausgesetzte Bewegung annehmen wollte. Noch ungleich gröſsere Schwierigkeiten zeigen sich aber, wenn man auf Einzelnheiten eingeht. Leicht vorstellbar ist, daſs die Schwingungen des Lichtäthers ein so feines Organ, wie den Gesichtsnerv afficiren und die Undulationen fester, flüssiger oder expandirter Körper in dem zarten Gehörorgane eine Empfindung erzeugen, daſs aber die an sich gar nicht wahrnehmbare Bewegung, durch die chemische Verbindung des Wasserstoffgases mit Sauerstoffgas im Knallgasgebläse erzeugt, die mit so groſser Gewalt zusammenhängenden Theile des Eisens, Platins und anderer Metalle in so starke Bewegung setzen sollte, als zum Umhersprühen und Verflüchtigen derselben erfordert wird, ist ohne Widerrede nicht vorstellbar. Ferner aber ist es offenbar nicht genügend, zur Erklärung der einzelnen Phänomene sich bloſs des Wortes Bewegung zu bedienen, sondern es müſste nothwendig für jedes besondere Verhalten die eigenthümliche Art der Bewegung und der innere Zusammenhang zwischen der speciell modificirten Bewegung und der ihr zugehörigen Wirkung auf gleiche Weise nachgewiesen werden, als dieses bei den Schall- und Licht-

1 Vergl. Art. *Abstoſsung*. Bd. I. S. 120.

wellen nach der Undulationstheorie geschehn ist. Endlich haben wir für die optischen Erscheinungen ein materielles Substratum, den Lichtäther, und wollten wir für die Wärmephänomene ein ähnliches Medium annehmen, so wäre damit die Existenz eines materiellen Wärmestoffes zugestanden.

10) Diese unüberwindliche Schwierigkeit haben alle diejenigen gefühlt, welche sich eben deswegen gegen die Zulässigkeit der Vibrationstheorie erklärten. Murray[1] sagt daher, die Ausdehnung der Körper kann nicht durch eine oscillatorische Bewegung erzeugt werden, welche bloſs wechselnde Verdichtungen und Verdünnungen voraussetzt. Ebenso wenig ist der bleibende Zustand der Aggregatform der Körper, wenn wir diese als durch Bewegung erzeugt annehmen wollten, mit dieser Ansicht vereinbar, namentlich wenn man berücksichtigt, daſs das Wasser bei seiner Verwandlung in Dampf ein 1800-mal gröſseres Volumen erhält. Auch die Verbreitung der Wärme durch die Körper steht mit der Vibrationstheorie im Widerspruche, indem hiernach ihr Fortgang durch elastische Körper momentan seyn und überhaupt bei allen Körpern in einem gewissen Verhältnisse zur Elasticität derselben stehn müſste. Hauptsächlich aber läſst sich die Langsamkeit ihres Fortganges in den verschiedenen Körpern auf keine Weise damit in Einklang bringen, die Erscheinungen der specifischen und latenten Wärme nicht zu erwähnen.

11) Wie entscheidend diese Argumente auch sind, so ist doch auf der andern Seite nicht zu verkennen, daſs die Quelle der Wärme, die bei Rumford's und Davy's Versuchen durch Reiben entwickelt wurde, sich auf keine Weise mit innerer Wahrscheinlichkeit auffinden läſst, und alle gewiegte Physiker erkennen diese groſse Schwierigkeit unverhohlen an. Wir wollen statt vieler Anderer nur den gelehrten Thomas Young[2] hierüber hören. Nach seiner Ansicht ist die Wärme, die durch das Abschaben der wenigen Metallspähne bei Rumford's Versuchen erzeugt wurde, so unermeſslich groſs, daſs es als unmöglich erscheinen muſs, sie für einen eigentlichen Stoff zu halten. Rumford fand die Wärmecapacität der abgeriebenen

---

1 System of Chemistry. 3d ed. T. I. p. 463.
2 Lectures on natural Philosophy. Lond. 1807. 4. T. I. p. 653.

Spähne nicht geringer, als die des soliden Metalls[1], angenommen aber, sie sey um $\frac{1}{12}$ geringer geworden (wodurch also $\frac{1}{12}$ ihrer absoluten Wärme ausgeschieden wäre), so hätte dieses Zwölftel 33000 Grade Centes., und die gesammte Wärme der Spähne vom absoluten Nullpuncte bis zum Eispuncte ungefähr 390000 Grade betragen müssen. Dalton[2] findet diese Argumentation ungenügend; der Unterschied der Wärmecapacität sey nur, wie er meint, wegen Mangelhaftigkeit der Versuche nicht aufgefunden worden, die Wärme habe ihren Ursprung nicht bloſs aus den Spähnen, sondern aus der gesammten Masse des Metalls, und der absolute Nullpunct müsse weit tiefer liegen, als man annehme. Young dagegen führt an, daſs 1 ℔. Salpeter ungefähr 0,5 ℔. trockne Salpetersäure enthält, deren specifische Wärme ungefähr halb so groſs, als die des Wassers ist, und 1 ℔. Salpeter enthält daher nur $\frac{1}{4}$ so viel Wärme, als 1 ℔. Wasser. Dennoch aber fanden Lavoisier und Laplace, daſs 1 ℔. mit Kohle verbrennender Salpeter eine Hitze erzeugte, die 12 ℔. Eis zu schmelzen vermochte, folglich würde 1 ℔. trockne Salpetersäure 24 ℔. Eis zu schmelzen vermögen. Angenommen, daſs beim Processe des Verbrennens die entwickelten Gase nicht mehr Wärme verschluckten, als die Kohle hergab, so folgt, daſs 1 ℔. Wasser so viele Wärme besitzen müsse, als 48 ℔. Eis zu schmelzen erfordert werden, d. h. 3734 Cent. Grade. Gesetzt aber, man wollte wirklich eine solche Menge latenter Wärme in den verbrennenden Körpern voraussetzen (oder den absoluten Nullpunct als so tief liegend annehmen), so ist die Erzeugung der Wärme durch Reiben, wobei die geriebenen Körper, namentlich in Davy's Versuchen das Eis, keine Zersetzung oder Veränderung erleiden, auch dann durchaus unerklärbar. Young schlieſst demnach, daſs die Wärme kein materielles Etwas seyn kann, wenn sie beim Reiben aus dem Nichts erzeugt wird; auch könne man sie nicht für eine der Attraction entgegengesetzte repulsive Kraft halten, weil sonst die Elasticität fester und flüssiger Körper durch ihre Vermehrung wachsen müſste. Als mate-

---

1 Bei einem Versuche wurden 4145 Gran Spähne abgerieben und 26,58 ℔. Wasser zum Sieden gebracht.

2 Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Uebers. von Wolff. Th. I. S. 113.

rielles Wesen könne sie nicht nach allen Seiten hin ausstrahlen, auch müfsten ihre Theile bei der Concentration im Focus einander so nahe kommen, dafs sie von der geradlinigen Bahn abweichen würden. Diesemnach setzt er die Wärme in Schwingungen, ähnlich denen des Lichts und des Schalles. Die Analogie zwischen Licht und Wärme scheint ihm auch daraus hervorzugehn, dafs die ungleichen Lichtstrahlen zugleich verschiedene erwärmende Kraft haben, bis zu der Grenze hin, von welcher an die Lichtstrahlen für das Auge nicht mehr empfindbar sind, wohl aber als Wärmestrahlen noch wahrgenommen werden. Auch zwischen den Schallwellen und den Wärmestrahlen findet er grofse Aehnlichkeit und geht hierin so weit, dafs er meint, die Wellen, welche ein vibrirender, ins Wasser getauchter Schenkel einer Stimmgabel zeige, geben ein Bild der Dampfbildung.

12) So lange man sich, wie auch hier durch Young geschieht, mit allgemeinen Analogieen begnügt, läfst sich diese Hypothese aufstellen, sobald man aber die Begriffe scharf aufzufassen sucht, zeigt sie sich als ganz unhaltbar. Die Analogie mit dem Lichte fällt zuerst ganz weg; denn wir haben dabei allerdings Undulationen, aber eines Lichtäthers, eines materiellen Fluidums, und wenn wir ein solches auch den Wärmephänomenen zum Grunde legen, so ist damit der verlangte Wärmestoff schon zugestanden. Die Bewegungen in den Schallwellen würde man sicher Bedenken tragen als ein Analogon der Wärmephänomene anzuführen, wenn man überlegen wollte, dafs diese in nichts anderem, als in regelmäfsigen Stöfsen (Pulsationen) bestehen, die im höchsten Grade verfeinert den Schlägen eines Rammklotzes gegen einen Pfahl vergleichbar sind. Beide Analogieen verschwinden aber oder zeigen sich als unhaltbar, sobald man die Theorie der Wellen auf die Erscheinungen der latenten Wärme anwendet, wobei ein die Wärmephänomene gebendes Etwas in genauen quantitativen Verhältnissen gebunden und nach willkürlich langer Zeit wieder frei wird. Obgleich jede Welle aus einem Positiven und einem Negativen, einem Wellenberge und Wellenthale, einer Verdichtung und Verdünnung besteht, so ist dennoch eine absolut und allein negative Welle ein durchaus unfafslicher Begriff, und es lassen sich daher weder die Erscheinungen der Wärme, noch auch die der *Elektricität* und des *Magnetismus*

auf bloſse Wellenbewegung, ohne materielles Substrat, zurückführen; die beiden letzteren Potenzen schon deswegen nicht, weil sie aus einem Positiven und einem Negativen (des vorhandenen Gegensatzes wegen) bestehn, deren jedes wieder Wellenberge und Wellenthäler erfordern würde. Das Aufhören der Wellenbewegung bedingt nothwendig das Aufhören der Erscheinungen, wie dieses auch beim Schalle und beim Lichte der Fall ist, das Aufhören der hypothetischen Wärmevibrationen müſste daher den Eintritt des absoluten Nullpunctes zur Folge haben, die bleibende Ausdehnung der Körper bei mittleren Temperaturen müſste daher aus ewig dauernden Vibrationen erhlärt werden, die Bindung der Wärme wäre dann eine Verminderung dieser Vibrationen mit Aenderung des Aggregatzustandes der Körper, wofür weder die Licht- noch die Schallwellen ein Analogon darbieten; aber daſs demnächst nach willkürlichen Zeiträumen die Vibrationen mit meſsbar gleichen quantitativen Gröſsen wieder zum Vorschein kommen sollten, dieses ist schwerlich überall vorstellbar.

13) Gegen diese, in der That unüberwindlichen Schwierigkeiten müssen diejenigen als verschwindend erscheinen, welche aus der allerdings räthselhaften Erzeugung der Wärme durch Reibung hervorgehn, obgleich noch niemand die eigentliche Quelle derselben genügend nachzuweisen vermochte. William Henry[1] hat es übernommen, die aus der Wärmeerzeugung durch Reiben abgeleiteten Argumente gegen einen materiellen Wärmestoff zu widerlegen. Zuerst findet er den Beweis unzulässig, daſs bei Davy's Versuchen zu der im Vacuum geriebenen Scheibe keine Wärme von auſsen zugeführt worden sey, denn dieselbe könne auch den leeren Raum durchdringen und demjenigen Körper zugeführt werden, der zu ihrer Aufnahme disponirt sey. Bei Rumford's Versuchen war der Bohrer mit Wasser umgeben und alle Luft abgehalten; die Wärme konnte daher nur durch den Bohrer zugeführt werden. Eine Ungereimtheit will Henry darin nicht finden, daſs ein Körper zugleich Wärme anziehe und wieder abgebe, wie in beiden Versuchsreihen der Fall war; allein daſs ein solches Verhalten, wenn auch nicht absolut unzulässig, doch auf jeden Fall nicht

1 Mem. of the Society of Manchester. T. V. P. 2. Lond. 1802.

ungezwungen vorstellbar sey, unterliegt wohl keinem Zweifel. Dafs die Wärme nicht aus den geriebenen Körpern entstanden sey, folgerte Davy aus dem Schmelzen geriebener Eisstücke, indem diese sonst so viele Wärme hätten verlieren müssen, als aus ihnen entbunden wurde, Rumford aber fand, dafs die specifische Wärme abgeschabter Metalltheile der des massiven Metalls gleich sey, und auch diese konnten daher die erzeugte Wärme nicht abgeben. Die Einwendungen, welche Henry hiergegen macht, können nur dazu dienen, die Argumente zu schwächen, keineswegs aber sie ganz zu entkräften. Es läfst sich allerdings dagegen anführen, dafs unsere Thermometer nur die relativen, keineswegs aber die absoluten Wärmemengen angeben, und dafs wir zwar Mittel zur Bestimmung der verschiedenen Wärmecapacitäten und zur Nachweisung des Latentwerdens der Wärme haben, aber keine, die zur Ausmittelung der absoluten Wärmemengen genügen, wodurch dann allerdings der Schlufs, es könne eine so bedeutende Menge Wärme durch Reiben aus den Körpern nicht entbunden werden, wankend gemacht wird. Allein es läfst sich dennoch nicht verkennen, dafs die Auffindung der eigentlichen Quelle, die unaufhörlich bei fortgesetztem Reiben eine so prodigiös scheinende Wärmemenge hergiebt, und die Nachweisung der Aetiologie einer solchen Production im höchsten Grade schwierig ist, sobald man nach der Hypothese eines materiellen Wärmestoffes blofs das Quantitative desselben berücksichtigt.

Dagegen erklärt sich Henry als Anhänger eines materiellen Wärmestoffes aus mehreren, nach seiner Ansicht entscheidenden Gründen. Zuerst erweitert die Wärme den Raum anderer Körper und mufs daher selbst einen Raum einnehmen oder ausgedehnt seyn, woraus dann ihre Undurchdringlichkeit von selbst folgt. Ein Gewicht derselben ist zwar durch die Versuche von Büffon, Whitehurst, Fordyce, Pictet und Rumford nicht gefunden worden, aber damit die Nichtmaterialität derselben ebenso wenig erwiesen, als für den Lichtstoff durch ein gleiches Verhalten desselben. Auf jeden Fall zeigt zweitens die Wärme chemische Wirkungen und mufs daher materiell seyn. 1) Die charakteristischen Kennzeichen der Wärme verschwinden, sobald sie Formänderung in andern Körpern hervorgebracht hat. 2) Hierbei ist eine gewisse Wahlverwandtschaft unverkennbar, indem sich in hoher Temperatur die

Wärme nur mit dem einen Antheile der Metalloxyde verbindet und diesen abscheidet, auch bei einigen Stoffen frei, bei andern gebunden wird. 3) Bei einigen Stoffen wirkt die Wärme durch doppelte Wahlverwandtschaft, z. B. bei der Zersetzung des Wassers durch Eisen. 4) Die Wärme dient zuweilen als Aneignungsmittel, z. B. bei der Verbindung des Kohlenstoffs mit Sauerstoff, die nur in großser Hitze erfolgt. Henry sucht dann zugleich darzuthun, dafs die Capacität der Wärme nach Crawford's Theorie von ihrer Verwandtschaft verschieden sey, wie aus der Dampfbildung aus Aether hervorgeht, indem er diese auf die chemische Affinität der Wärme zum Aether zurückführt, die daher so stark verschluckt wird, dafs dadurch beträchtliche Erkältung entsteht. Somit hat also die Wärme alle Qualitäten der Materie, aufser der Schwere, und wir sind daher berechtigt, sie für eine Materie eigenthümlicher Art zu halten. Hierfür entscheidet namentlich auch der Umstand, dafs Bewegung ohne etwas Materielles unstatthaft ist, und da nach Rumford die Wärme durch die Torricelli'sche Leere dringt, in welcher nichts vorhanden ist, was die Wärme fortpflanzen könnte, so mufs die Wärme selbst etwas Materielles seyn.

Wären hierbei die Prämissen vollständig begründet, dafs die Wärme den leeren Raum wirklich durchdringt, in der Torricelli'schen Leere aber überall nichts Materielles vorhanden ist, dann wäre dieses Argument unwiderleglich begründet; allein namentlich die Abwesenheit aller Materie in der Torricelli'schen Leere dürfte mit siegreichen Waffen angegriffen werden und aufserdem könnten die Gegner sich durch die Annahme helfen, dafs die den leeren Raum einschliefsende Hülle die Bewegung fortpflanze. Wir werden auf diesen Gegenstand später wieder zurückkommen.

14) Berthollet[1], durch die vielen Gründe für einen materiellen Wärmestoff bewogen, erklärt sich gegen Rumford's Folgerungen und leitet die erzeugte Wärme aus der Compression der geriebenen Körper ab, ohne jedoch die Resultate der §. 11 mitgetheilten, dieses sehr unwahrscheinlich machenden Berechnung gehörig zu widerlegen. Einen schätzbaren Beitrag zu den Untersuchungen über Wärmeentbindung durch Reiben

1 Statique chimique. T. I. p. 247.

hat aber HALDAT[1] geliefert, welcher verschiedene Metalle mit ungleichen Geschwindigkeiten, mit gröſserem und geringerem Drucke, mit rauher und glatter Oberfläche, mehr oder weniger gegen Wärmeleitung geschützt, auch elektrisch isolirt oder leitend mit der Erde verbunden, an einander rieb. Die Hauptresultate, welche aus zehn Versuchen hervorgehn, wodurch allerdings die eigentliche Aufgabe nicht gelöst wurde, sind auſser der Bestätigung der unerwartet groſsen, durch Reiben erzeugten Menge von Wärme hauptsächlich folgende. Die Quantität der Wärme hängt nicht von der Dichtigkeit der Körper ab; denn Blei gab nicht mehr Wärme, als Kupfer, und beide Metalle gaben weniger als Zink. Die Rauhheit der geriebenen Fläche zeigte keinen vermehrenden Einfluſs, vielmehr war die erzeugte Wärmemenge in einem Versuche, wobei der reibende Körper nach Art einer Feile eingeschnitten wurde und Spähne abrieb, um die Hälfte geringer, als wenn dieselben Flächen, bei gleicher Geschwindigkeit und gleichem Drucke, anfänglich glatt durch das Reiben selbst Politur erhielten. Hieraus darf man mit Recht folgern, daſs die in RUMFORD's Versuchen abgeriebenen Spähne die erzeugte Wärme nicht hergaben. Durch Vermehrung des Druckes wuchs dagegen die Menge der hervorgebrachten Wärme bedeutend, denn in zwei übrigens gleichen Experimenten erzeugte der Druck von 40 Kilogrammen 6mal so viel Wärme, als von 10 Kilogrammen[2]. Hieraus scheint hervorzugehn, daſs die Wärme aus den Körpern durch Compression derselben ausgeschieden werde, allein hiergegen streitet das Resultat eines Versuches, in welchem ein Metalldraht durch starke Hammerschläge Bandform erhielt. Sein specifisches Gewicht war dadurch nicht so viel verändert, daſs die hydrostatische Waage den Unterschied anzeigte, doch entschieden seine vermehrte Elasticität und Sprödigkeit für vergröſserte Dichtigkeit, allein die dadurch erzeugte Wärmemenge, soweit der Versuch eine meſsbare Vergleichung gestattete, war geringer als die durch Reibung hervorgerufene. Dieses Resultat findet HALDAT nicht mit Unrecht so bedeutend, daſs er

---

1 Journal de Phys. T. LXV. p. 213.

2 Es wäre wohl der Mühe werth, durch neue Versuche dieser Art das Verhältniſs des vermehrten Druckes zu den erzeugten Wärmemengen auszumitteln.

meint, man könne kaum umhin, der Hypothese Rumford's beizupflichten, wenn nicht die Argumente für einen materiellen Wärmestoff allzugewichtig wären, weswegen eine endliche Entscheidung der eigentlichen Frage noch zur Zeit, und bis neue Versuche die Summe der Thatsachen vermehrten, unzulässig sey. Wolle man die Wärme aus der Compression ableiten, so bleibe dunkel, warum geriebene elastische Metalle, z. B. Zink, bei ihrer Wiederausdehnung nicht gleiche Quantitäten Wärme verschluckten. Würde die Wärme durch Reiben ausgeschieden, so sey damit noch nicht ausgemacht, ob sie aus den geriebenen oder aus den umgebenden Körpern ihren Ursprung erhalte. Im ersten Falle müſste sie der Dichtigkeit umgekehrt proportional seyn (?) und sich erschöpfen, im zweiten müſste die leichtere Zuleitung einen Einfluſs ausüben, was jedoch gegen seine eigenen und die früheren Versuche streite. Wolle man aber die Wärmequelle in Vibrationen suchen, so müſste ihre Menge durch Condensation abnehmen, und sich vorzüglich ein gewisses Verhältniſs zur Dichtigkeit und hauptsächlich zur Elasticität der geriebenen Metalle zeigen. Sonach genüge weder die eine noch die andere Hypothese, um die obwaltenden Zweifel zu lösen.

15) Die bisher genannten Anhänger der Undulationstheorie verwerfen jede Art der Materialität des Wärmestoffes, indem sie auch das Vorhandenseyn eines die Erscheinungen erzeugenden und bedingenden Aethers in Abrede stellen. Hiernach dürften sie eigentlich die Phänomene der Wärme nicht mit denen des Lichts in Parallele stellen, indem diese letzteren von den Undulationen eines unleugbar materiellen Lichtäthers abhängen, sondern sie könnten allein mit denen des Schalles verglichen werden. Zu den Vertheidigern dieser Ansicht, wonach also die Wärmeerscheinungen bloſs aus Bewegungen derjenigen Körper bestehn, bei denen dieselben wahrgenommen werden, gehört auch Paulsen[1], welcher das gesammte Verhalten der Wärme auf ursprüngliche oder mitgetheilte Bewegung der Körpertheilchen zurückführt, jedoch mit minder scharfer Auffassung der Thatsachen, als diese durch Mohr mitgetheilt ist], wie oben bereits erwähnt wurde. Es scheint mir daher noch weniger geeignet, die von ihm gegen die Materialität der

1 De caloris theoria, qua vibrationis vel motus systema contra systema materiale defenditur. Gott. 1821.

Wärme aufgestellten und für die von ihm vertheidigte Ansicht beigebrachten Gründe hier einzeln zu prüfen, weil das Ganze darauf hinausläuft, der Wärme die Materialität abzusprechen, weil ihr die Schwere, Ausdehnung und Undurchdringlichkeit fehlt, die Ursache der Wärmephänomene dagegen in eine eigenthümliche Bewegung der Körpertheile zu setzen und diese Bewegung nach der Verschiedenheit der Wärmephänomene verschieden modificirt zu nennen. Wesentlich verschieden von dieser Hypothese ist eine ihr insofern ähnliche, als dabei gleichfalls die Materialität der Wärme in Abrede gestellt wird. Nach Wünsch[1] soll es eine *positive* Wärme geben, die auf einer positiv oscillirenden Ausdehnung der Körpertheilchen beruht, so wie eine *negative*, die nichts weiter als eine oscillirende Zusammenziehung der sinnlich wahrnehmbaren Materie seyn soll. Um dieses zu begreifen, soll man nur den Satz vor Augen haben, daſs die bald gröſsere, bald kleinere Ausdehnung der in mancherlei Art verschiedenen Materien, welche zu einerlei Wärmeenergie gehört, von der bald stärkeren, bald schwächeren Cohäsion und Gravitation ihrer Theile abhängt; allein daſs die Cohäsion der Ausdehnung direct oder umgekehrt proportional seyn solle, streitet gegen die Erfahrung, und eine Verschiedenheit der Gravitation gegen den erwiesenen Satz, daſs alle Materie gleich schwer ist.

16) Es läſst sich sehr sachgemäſs eine Theorie hier anreihen, welche gleichfalls Undulationen annimmt, aber modificirte, und diese genauer bestimmt, ohne sich mit der bloſsen Bezeichnung der Phänomene durch das Wort Bewegung zu begnügen. Ampère gab diese Hypothese zuerst in ihren allgemeineren Umrissen[2], führte sie aber nachher weiter aus[3]. Hiernach erklärt er sich dahin, daſs zuerst die sogenannte strahlende Wärme sich in ihrem Verhalten dem des Lichtes ganz gleich zeige und daher auch auf ähnliche Vibrationen zurückgeführt werden könne, daſs aber ein merklicher Unterschied hervortrete, wenn die Wärme von dem heiſsern Ende eines Körpers sich an das kältere begebe, denn statt einer Wellenbewegung, wobei die undulirende Flüssigkeit im Augenblick

1 G. XXVI. 337.

2 Bibliothèque univ. 1832. T. XLIX. p. 225.

3 Ann. de Chim. et Phys. T. LVIII. p. 432. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 342.

des Fortschreitens der Welle unbewegt bleibe, habe man eine gradatim fortschreitende Bewegung, indem die ursprünglich heifsere Stelle zwar erkalte, aber stets wärmer bleibe, als die Theile, denen sie Wärme mittheile. Weil jedoch ein Körper, an der einen Stelle durch die Sonnenstrahlen erhitzt, seine Wärme den übrigen Theilen zuführe, so könne man das Licht und die Wärme dieser Strahlen nicht aus Wellenbewegungen ableiten, ohne zuzugestehn, dafs auch die Verbreitung der Wärme im Körper durch Undulationen geschehe; ein Schlufs, dessen Gültigkeit nicht sofort einleuchten dürfte. Ampère unterscheidet, was auch im Allgemeinen wichtig ist, bisher aber noch keineswegs ausgebreiteten Beifall gefunden hat, rücksichtlich der Zusammensetzung der Körper *Partikeln*, *Molecüle* und *Atome*. Die Theilchen (particules) haben ihrer Kleinheit ungeachtet die Aggregatform der Körper, zu denen sie gehören, sind also starr, tropfbar-flüssig oder gasförmig, und bestehn aus Molecülen, die in gewissen Abständen von einander gehalten werden: 1) durch die den Atomen eigenthümlichen attractiven und repulsiven Kräfte, sofern sie ihre Wirkung bis zu derjenigen Entfernung erstrecken, in welcher die Molecüle zu Partikelchen vereinigt sind, 2) durch die Repulsion, welche die Vibrationen des zwischen den Partikelchen befindlichen Aethers erzeugen, und 3) durch die der Materie eigenthümliche Attraction. Die Molecüle sind dann ferner eine Verbindung von Atomen und werden durch die den Atomen eigenthümlichen attractiven und repulsiven Kräfte zusammengehalten. Letztere sind so überwiegend stark, dafs dagegen die der Molecüle als fast unmerklich erscheinen können. Atome endlich sind materielle, mit attractiven und repulsiven Kräften versehene Puncte. Hieraus folgt, dafs die Molecüle ihrem Wesen nach fest sind, wie auch die Aggregatform des Körpers seyn mag, wozu sie gehören, und dafs sie Polyeder bilden, an deren Spitzen sich Atome oder eine gewisse Anzahl Atome befinden und welche von den Krystallographen primitive Gestalten der Körper genannt werden. Der Uebergang der Körper in den verschiedenen Aggregatzustand besteht in weiter nichts, als in einem verschiedenen Abstande ihrer Molecüle von einander, wobei ihre anziehenden und abstofsenden Kräfte zum Gleichgewicht kommen, beim Uebergange zur Festigkeit aus dem tropfbar-flüssigen Zustande vereinigen sich jedoch mehrere Molecüle zu zusammen-

gesetzteren. Durch mechanische Mittel können blofs die Partikeln getrennt werden, die aus den Vibrationen der Atome entstehende Kraft vermag die zusammengesetztern Molecüle eines festen Körpers in einfachere, wie sie in tropfbar-flüssigen und gasförmigen Körpern vorhanden sind, zu zerlegen und die chemischen Kräfte vermögen auch diese letztern zu trennen [1]. Dafs die Atome keiner weitern Theilung fähig sind, liegt in der Natur der Sache.

Ampère unterscheidet dann Vibrationen der Molecüle und der Atome. Die erstern bestehen aus Näherungen und Entfernungen der Molecüle, die letztern finden ohne Unterbrechung statt, indem die Atome sich stets abwechselnd einander nähern oder von einander entfernen, ohne aufzuhören, dem nämlichen Molecüle anzugehören. Zu den erstern gehören die Schallschwingungen, die letztern erzeugen für sich und vermöge ihrer Fortpflanzung durch den Aether die Erscheinungen des Lichts und der Wärme. Da keine Vibrationen ohne den Zustand des stabilen Gleichgewichts zwischen anziehenden und abstofsenden Kräften statt finden können, so setzen die Vibrationen der Atome diese gleichfalls voraus, und zugleich mufs bei verändertem Abstande die Repulsivkraft schneller wachsen und abnehmen, als die Attractivkraft; auch könnten beide Kräfte als eine einzige gedacht werden, deren mathematischer Ausdruck entgegengesetzte Zeichen haben müfste. Besteht aber die Wärme aus solchen Vibrationen der Atome, so kann sie nicht mit der hierzu nothwendigen Repulsivkraft identisch seyn.

17) Wie man auch diese Theorie eines berühmten Gelehrten würdigen mag, so steht ihr auf jeden Fall entgegen, dafs sie durchaus willkürlich ist und einer ursprünglich festen Basis ermangelt. Eben diese Willkür in Aufstellung neuer Hülfshypothesen gewahrt man auch bei den Anwendungen derselben auf die einzelnen Phänomene. Da die Wärme in den Körpern stets vorhanden ist, so müfste man schon im voraus eine von Ewigkeit her bestehende unausgesetzte Bewegung statuiren, ohne dafs die beiden Kräfte sich jemals zu einer ruhen-

---

1 Dieser Satz hängt mit einem anderweitig bekannten, aber auch von Ampère in Ann. des Mines 1814 aufgestellten zusammen, dafs nämlich in gleichen Volumen verschiedener Gasarten unter gleichem Druck und bei gleicher Temperatur gleiche Mengen von Molecülen enthalten sind.

den Mittelkraft vereinigten, wozu wir in der Natur kein Analogon finden. Ampère nimmt dann zweierlei Vibrationen an, zuerst wenn die (dunkle) Wärme sich in den Körpern bewegt, und zweitens die strahlende Wärme, welche nach seiner Meinung nicht vom Lichte unterscheidbar ist, indem das Licht aus so häufigen und intensiven Wellen besteht, daſs diese die Feuchtigkeiten des Auges zu durchdringen vermögen, so wie die Wärme der Glühhitze solche Körper, als Wasser, Glas u. s. w., durchdringt, die für die dunkle Wärme undurchdringlich sind. Wir werden noch öfter Gelegenheit haben, auf das Verhältniſs zwischen Licht und Wärme zurückzukommen, welche namentlich auch Biot dem Wesen nach für identisch hält, wollen aber hier nur vorläufig bemerken, daſs auch die dunkle Wärme strahlt, der Unterschied der Intensität zwischen Weiſsglühhitze und dunkler Wärme aber bei weitem so groſs nicht ist, als zwischen dem hellsten Sonnenlichte und dem schwächsten, dem in völliger Dunkelheit sehr reizbaren Auge noch wahrnehmbaren Scheine phosphorescirender Körper, und dennoch hat das Licht in allen seinen Abstufungen die nämlichen, bloſs an Intensität verschiedenen Eigenschaften, so daſs man nicht füglich begreift, wie die Wärme, zuerst mit Licht identisch, ohne nachweisbaren Grund in ein anderes Wesen von durchaus verschiedenem Verhalten übergehen sollte. Ampère vergleicht übrigens das verschiedene Verhalten der Wärmewellen mit dem des Schalles, wobei dem Wesen nach die Wellen der strahlenden Wärme denen des Schalles ganz ähnlich, die der in Körpern fortgehenden aber solchen Schallwellen ähnlich seyn sollen, die entstehen würden, wenn die Vibrationen mehrerer sehr nahe bei einander befindlicher und auch wohl in eine Hülle eingeschlossener tönender Körper sich wechselseitig bedingten und durch die eingeschlossene Hülle bedingt würden.

18) Die Hypothesen der eigentlich so genannten *Naturphilosophen*, wie sie in den beiden ersten Decennien dieses Jahrhunderts aufgestellt wurden, übergehe ich mit Stillschweigen, weil sie in allzu allgemeinen Ausdrücken abgefaſst sind, als daſs sie den Erscheinungen im Einzelnen genau angepaſst und hierdurch geprüft werden könnten; Erwähnung verdient jedoch eine Ansicht, welche aus einigen Lehrsätzen Kant's entnommen eine geraume Zeit lang viele Anhänger erhielt. Der mit Recht gefeierte Königsberger Philosoph glaubte bewie-

sen zu haben[1], daſs die Materie selbst, und zwar ihrem Wesen nach und in Beziehung auf ihre Existenz, durch zwei Kräfte, die Dehnkraft und Ziehkraft, bedingt, gleichsam erst gegeben werde. Auſser dem Aufsehen, welches diese neue Lehre bei den Physikern erregte, mochte wohl die sofort nachfolgende Bekanntwerdung der erwähnten Versuche Rumford's und Davy's dazu mitwirken, die bis dahin ziemlich allgemein herrschende Ansicht von der Materialität der Wärme und des Lichtes in Zweifel zu ziehn, und da der Reformator der bis dahin gangbar gewesenen philosophischen Systeme von den speculativen Philosophen so allgemein gepriesen wurde, die gleichsam wetteiferten, sich in ihrem Lobe zu überbieten, so glaubten viele, namentlich jüngere Physiker, durch Auffindung der beiden entgegenwirkenden Grundkräfte sey die schwierige Aufgabe über das Wesen der Materie und die letzten Gründe aller Erscheinungen in der Körperwelt endlich gelöset; wobei jedoch nicht zu übersehen ist, daſs diese Ansicht bloſs in Deutschland Vertreter fand. Es würde überflüssig seyn, die groſse Zahl der Anhänger dieser sogenannten *dynamischen Theorie* der Naturerscheinungen aufzuzählen, und es wird daher genügen, nur F. Hildebrandt[2] zu nennen, welcher diese Hypothese auf die gesammte Naturlehre anzuwenden versuchte. Hiernach existirt keine materielle Grundlage weder des Lichts noch der Wärme, sondern „die Dehnkraft, welche in ihrem freien Zu„stande uns als Licht erscheint, kann, in der Sphäre ihrer Ver„breitung Körper antreffend, von der Materie aufgehalten und „angenommen werden, mit ihr sich verbinden und an ihr haf„ten. In diesem Zustande bewirkt sie das, welches wir Wärme „nennen. Die Wärme ist demnach die an der Materie schon „haftende Dehnkraft, in ihrem Ursprunge mit dem Lichte „identisch, aber in ihrem Zustande von dem Lichte wesentlich „verschieden."

Es ist in der That unbegreiflich, wie die deutschen Physiker, bei ihren sonst nicht unbegründeten Ansprüchen auf den Credit des Scharfsinns, sich eine so auffallende *petitio principii*

---

1 Vergl. Art. *Materie*. Bd. VI. S. 1410.

2 Anfangsgründe der dynamischen Naturlehre. Erlang. 1807. 8. Speciell S. 533. Vergl. Alex. Nicol. Scherer Bemerkungen über die Natur des Wärme- und Lichtstoffs. In: Nachträge zu den Grundzügen der neuern chem. Theorie. Jena 1796. 8.

erlauben und eine Kraft ohne materielles Substratum, eine reine Dehnkraft, die im Lichte sich als bewegend zeigen sollte, in das Gebiet der Naturlehre einführen, das Wesen der Wärme aber in eine Verbindung dieser reinen Kraft mit der Materie setzen konnten, ohne nach dem Grunde und den Gesetzen dieser Verbindung zu fragen, gleichsam als sey es nur ein Act willkürlicher Laune, entweder der Dehnkraft, sich mit der Materie, oder der letzteren, sich mit der ersteren zu verbinden. Inzwischen wuchsen auf diesem Felde einer allzufreien Speculation die vielen auf ein Wechselspiel willkürlich angenommener Kräfte gegründeten Hypothesen namentlich über das Wesen der sogenannten unwägbaren Potenzen, von denen blofs Oersted's[1] Theorie der Wärme hier erwähnt werden möge. Dieser durch seine glänzende Entdeckung des Elektromagnetismus später so berühmt gewordene Gelehrte glaubte, dafs Winterl's Speculationen zur Enthüllung der verborgenen Naturgeheimnisse führen könnten, und versuchte es daher, die gegebenen Andeutungen weiter zu entwickeln. Hiernach nahm er statt der bis dahin so hoch gestellten Kantischen Grundkräfte[2] zwei andere an, die *Brennkraft* und *Zündkraft*, die sich einander aufheben und daher entgegengesetzt seyn sollten. Diese betrachtete er als die letzten chemischen und selbst auch mechanischen Kräfte, mithin als die *allgemeinen Grundkräfte* der Körperwelt. Mit besonderer Rücksicht auf die elektrische Leitungsfähigkeit der Körper, und von dem, vermittelst Kinnersley's sogenannten Luftthermometers früher durch die englischen Physiker aufgefundenen, nach neuern Versuchen wohl noch zweifelhaften, Gesetze ausgehend, dafs die Elektricität in Körpern, welche sie vollkommen leiten, gar keine Wärme entwickele, betrachtet er die Wärme als einen innern Wechselkampf der entgegengesetzten Kräfte, indem sie nur dann hervortritt, wenn das Gleichgewicht in jedem Puncte des Körpers gestört ist, aber so, dafs es zu keiner sinnlich erkennbaren Trennung der Kräfte ge-

---

1 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berl. 1812. 8. S. 81. 114. Vergl. *Elektricität* Bd. III. S. 369. G. LXXII. 139.

2 Schon früher als Kant betrachtete Knight die *Dehnkraft* und *Ziehkraft* als allen Erscheinungen der Körperwelt zum Grunde liegend in seinem Werke: Attempt to demonstrate, that all the phenomena in nature may be explained by two simple principles, attraction and repulsion. Lond. 1748.

kommen ist. Diese Kräfte müssen aber die eigentlichen Grundkräfte der körperlichen Natur ausmachen, weil sie unerschöpflich sind, sofern die Fähigkeit, durch Vertheilung Elektricität zu erhalten und zu leiten, so wie auch durch Stofs und Druck Wärme zu entwickeln, ohne Aufhören fortdauert.

19) Aus diesen, in solcher Allgemeinheit und Unbestimmtheit aufgestellten Kräften lassen sich dann leicht die einzelnen Wirkungen der Wärme, dafs sie ausdehnt, allen Körpern eigen ist, fortgeleitet wird, den Zustand der Flüssigkeit und Dampfform erzeugt, durch chemische Verbindungen frei wird u. s. w., ableiten, was jedoch im Einzelnen hier mitzutheilen zweckwidrig seyn würde. Zur Begründung und Erläuterung führt Oersted Thatsachen an, die bei dem unermefslichen vorhandenen Schatze aufzufinden einem so kenntnifsreichen Gelehrten nicht schwer werden konnte. Gegenwärtig hat sich inzwischen der Zustand der gesammten Naturforschung so wesentlich geändert, namentlich wohl, mindestens vorzugsweise, durch Auffindung der optischen Gesetze, dafs es keiner ausführlichen Widerlegung dieser Theorie bedarf. Kaum einige Aufmerksamkeit aber verdienen einige sonstige Hypothesen, von denen es wohl nicht zu hart geurtheilt ist, wenn man sagt, dafs sie auf blofsen Worten ohne scharf bestimmten Sinn beruhn. Dahin gehört die durch v. Arnim[1] aufgestellte, wonach die Wärme blofse Ausdehnung seyn soll, so wie die von Bunzen[2], welcher die Wärme durch Vereinigung eines Positiven und Negativen entstehen läfst und für nichts anderes als einen Indifferenzprocefs hält, endlich hauptsächlich die kaum zu entziffernden Aeufserungen Sertürner's[3].

Bei weitem die meisten und man darf wohl sagen die gewiegtesten Physiker nehmen einen materiellen, obwohl höchst feinen, ätherischen Wärmestoff an, welcher in gewissen quantitativen Verhältnissen in den Körpern vorhanden ist und durch diese seine blofse Anwesenheit, aufserdem aber durch seinen Uebergang von einem Körper zum andern, die bekannten Wärmeerscheinungen hervorbringt, die man aus dieser Hypothese zu erklären und grofsentheils durch mathematische Ausdrücke scharf

---

1 G. V. 57. Dessen Theorie d. el. Erscheinungen. S. 93.

2 Beitrag zu einer künftigen Physiologie. Kopenh. 1805. S. 103. G. XXV. 147.

3 G. LXIV. 80.

zu bestimmen gesucht hat. Schon die Annahme eines absoluten Nullpunctes zur Bezeichnung der Abwesenheit aller Wärme ist, genau genommen, nur mit dieser Hypothese verträglich, sofern dabei ein gewisses Quantitatives als statt findend vorausgesetzt wird. Unter den vielen Autoritäten nur die wichtigsten zu nennen würde überflüssig seyn, da sie bei den später zu erörternden, ganz auf diese Hypothese gebauten, Untersuchungen vorkommen müssen. Es wird daher genügen, bloſs einige Hauptmomente zu bezeichnen.

20) Die Anhänger der Hypothese eines vorhandenen Wärmestoffes lassen sich füglich in zwei Classen theilen. Einige derselben, deren Zahl und Gewicht keineswegs gering ist, halten die Wärme für modificirtes Licht und müssen daher, sofern man gegenwärtig die Undulationstheorie in der Optik für genugsam begründet ansehn darf, annehmen, daſs der überall verbreitete Lichtäther eine solche Modification erleide, vermöge welcher er die Wärmephänomene hervorzurufen vermag. Da das Licht allerdings die bedeutendste Quelle der Wärme ist, sofern letztere allezeit durch ersteres hervorgerufen wird, so fällt die Frage über Identität oder Verschiedenheit beider offenbar mit der Untersuchung der Art, wie die Wärme durch Licht erzeugt wird, und des Verhältnisses beider gegen einander zusammen, weswegen es am zweckmäſsigsten scheint, diese Aufgabe bis dahin zu verschieben, wo diese Frage zur nähern Untersuchung kommt. Andere, gleichfalls nicht wenige und gewichtige Physiker halten die Wärme für ein Wesen eigner Art, welches zwar an sich und in seinem Verhalten Aehnlichkeit mit dem Lichte hat, aber keineswegs eine so groſse und auffallende, daſs man eine bloſse Modification annehmen dürfte. Diese letztere Ansicht wollen wir hier etwas näher untersuchen.

21) Gegen die erwähnte Hypothese, wonach die Wärme eine bloſse Kraft oder das Resultat gewisser Vibrationen der Körper und Körpertheilchen seyn soll, hat sich vorzüglich J. T. Mayer[1] erklärt. Dem damals sehr allgemein aufgestellten Einwurfe gegen Materialität des Wärmestoffes, daſs demselben die Schwere fehle, setzt er das Argument entgegen, daſs diese Eigenschaft noch gar nicht als eine nothwendige Bedingung

1 Commentationes Soc. Reg. Sc. Gott. ad A. MDCCC—III. Vol. XV.

der Materie nachgewiesen sey, indem es so feine Stoffe geben könne, deren Gravitation sich nicht nachweisen lasse. Aufserdem sey die Wärme überall vorhanden und daher eine Wägung unmöglich, weil diese in einem absolut wärmeleeren Raume geschehn müsse. Die Versuche des Grafen RUMFORD hätten zwar allerdings einen grofsen Schein, allein da sie in umgebender Luft und in Verbindung mit Körpern angestellt wurden, in denen Wärmestoff vorhanden war, so könne man annehmen, dafs die geriebenen Körper aus dieser unerschöpflichen Quelle stets aufs Neue die nöthige Wärme entnommen hätten und daher selbst als unerschöpfliche Wärmequellen erschienen wären. Hiernach müsse man also annehmen, dafs die Wärme in den geriebenen Körpern blofs frei gemacht, der Abgang aber sofort aus der unerschöpflichen Menge der umgebenden Körper durch eine gewisse Attractivkraft wieder ersetzt worden sey. Auf ähnliche Weise ändere sich die specifische Wärme der Körper nur unbedeutend, wenn sie nicht in einen andern Aggregatzustand übergingen, in welchem Falle sie eine Menge Wärme anzögen, die in ihnen gleichsam verschwände[1]. Das Freiwerden der Wärme durch mechanische Mittel und das gleichzeitige Aufnehmen derselben in Folge eines, dem chemischen ähnlichen, Anziehungsprocesses findet MAYER nicht schwer zu erklären. Gegen die Undulationstheorie der Wärme findet er einzuwenden, dafs die Anhänger derselben die eigentliche Beschaffenheit der angenommenen Vibrationen, und auf welche Weise die verschiedenen Erscheinungen der Wärme aus ihnen hervorgehen müssen, nirgends deutlich und bestimmt angeben. Insbesondere zeige sich ein auffallender Unterschied zwischen der Mittheilung einer Bewegung und dem Uebergange der Wärme. Ein schallender Körper verliere keineswegs diejenige Bewegung, welche er den umgebenden Körpern mittheile, sondern komme durch die in ihm selbst befindlichen Hindernisse allmälig zur Ruhe, statt dafs die abgegebene Wärme quantitativ der aufgenommenen gleich sey. Wolle man den Unterschied der Schallschwingungen von denen, welche Wärme

1 MAYER und mehrere ältere Physiker finden ein ähnliches Verhalten bei der Elektricität, die durch Reiben stets erzeugt aus der Erde wieder ersetzt werden soll; allein die elektrischen Phänomene beruhen bekanntlich nur auf einer Zerlegung des O E in seine beiden Potenzen + E und — E und auf einer Wiedervereinigung dieser.

erzeugen sollen, darein setzen, dafs die letzteren den kleinsten Theilchen der Körper zugehörten, so kämen wir wieder zu den Hypothesen des Cartesius zurück, wonach die verschiedenen Qualitäten der Körper aus verschiedenen Bewegungen der Elemente erster, zweiter und dritter Ordnung erklärt werden. Wie sehr dagegen die Hypothese von einem materiellen Wärmestoffe den Erscheinungen angemessen sey, zeige besonders die Anwendung derselben auf die Gesetze der Wärmeleitung, wovon später die Rede seyn wird.

22) Prevost[1], welcher viel im Gebiete der Wärmelehre gearbeitet hat, nimmt einen Wärmestoff (Calorique) an, und denkt sich denselben als eine sehr feine Flüssigkeit, deren Elemente stets in entgegengesetzter Bewegung sind. Nach ihm ist es dann nicht sowohl diese Flüssigkeit selbst, als vielmehr die Verschiedenartigkeit der Bewegung, woraus die einzelnen Erscheinungen erklärbar werden, namentlich die sogenannte Wärmestrahlung[2]. Es wäre nicht die Mühe lohnend, die vielen Versuche und Schlüsse hier zu wiederholen, welche Dizé in einer ausführlichen Abhandlung[3] zusammengestellt hat, um die Materialität des Wärmestoffs darzuthun, da so viele seiner Behauptungen gegen anerkannte Naturgesetze streiten. Auch Hare[4] beschränkt sich, so wie Ure[5], blofs auf die bekannten Beweise, und im Ganzen ist dieses auch der Fall bei den ausführlichen Untersuchungen, welche Socquet[6] dieser Frage gewidmet hat, jedoch führen ihn diese zu dem Resultate, den Wärmestoff für eine eigenthümliche Materie zu halten, welche den Attractionsgesetzen folgt, aus welcher dann die meisten Aeufserungen derselben von ihm abgeleitet werden. Hare macht namentlich das Argument geltend, dafs die Bewegung zweier Massen nach dem Stofse $C' = \frac{MC + mc}{M + m}$

1 Recherches sur la Chaleur. Genève 1792. 8. Vergl. Phil. Trans. 1802. p. 444.

2 Bibliothèque univ. T. XXVI. p. 309.

3 Journal de Physique. T. XLIX. p. 172.

4 Silliman Amer. Journ. 1822. T. IV.

5 Dictionary. Art. Caloric.

6 Essay sur le calorique, ou recherches sur les causes physiques et chimiques des phénomènes que présentent les corps soumis à l'action du fluide ignée cet. Par. ann. IX. 8.

seyn müsse. Besteht aber die Wärme aus Bewegung, so müfste durch Vereinigung von Wasser und Quecksilber eine mittlere Temperatur beider hervorgehn, wogegen aber ganz entgegengesetzt das schwerere Quecksilber mehr, das leichtere Wasser weniger Wärme erhalte. Keine mitgetheilte Geschwindigkeit könne gröfser seyn, als die ursprüngliche, und dennoch erzeugten heifse feste Körper die prodigiöse Geschwindigkeit, die wir den expandirten Dämpfen beizulegen gezwungen sind; auch könne die Wärme, als blofse Bewegung gedacht, den leeren Raum nicht durchdringen, eine Kraft ohne materielles Substratum sey undenkbar.

Gegen diese Zurückführung der hauptsächlich auch chemisch wirkenden Wärmephänomene auf einfache Bewegungsgesetze erklärte sich Olmsted[1], obgleich selbst Vertheidiger der Hypothese von einem materiellen Wärmestoff. Richtig wird von diesem bemerkt, dafs die Wärmeundulationen nach Davy's Ansicht Bewegungen der kleinsten Theilchen in unmefsbare Fernen, also mit denen der Massen in mefsbare Abstände unvergleichbar sind. Aufserdem sind jene rotatorisch oder vibratorisch, diese dagegen geradlinig. Wenn aber Olmsted seine Widerlegung auch darauf gründet, dafs bei der angenommenen undulatorischen Bewegung eine Berührung der Körpertheilchen nicht zugleich bedingt sey, so läfst sich hieraus ein Argument gegen die Vibrationshypothese hernehmen, sofern eine Mittheilung der Bewegung ohne Berührung und bei Abwesenheit jedes Zwischenmittels unvorstellbar erscheinen dürfte. Diesem Argumente begegnet aber Olmsted durch eine Voraussetzung, die dasselbe zwar nicht eigentlich zu entfernen, wohl aber zur Seite zu schieben vermag, indem er die Frage aufwirft, warum die Wärmeundulationen nicht ebenso gut den leeren oder eigentlicher nur den luftleeren Raum durchdringen sollten, als die von der Sonne ausgehende, die Erde in ihrer Bahn erhaltende Gravitation. Es genügt jedoch hierüber zu bemerken, dafs man unmöglich die Wärme mit der Gravitation in Parallele setzen kann, denn eine *specifische Schwere* im eigentlichsten Sinne (nicht specifisches Gewicht), so wie eine latente Schwere ist ein mit der Erfahrung unvereinbarer Begriff, aber die specifische und latente Wärme sind auf keine

---

1 Silliman Amer. Journ. T. XI. p. 357. T. XII. p. 11. 50. 358.

Weise in Abrede zu stellen. Hiernach dürfen wir, nach Olmsted, über das Wesen der Uragentien, als namentlich Anziehung, Wärme, Licht, Elektricität und Magnetismus, uns keine Bestimmung erlauben, wenn wir gleich zur Bequemlichkeit die letzteren als Flüssigkeiten betrachten.

23) Ueberblicken wir die gesammten Wärmephänomene und versuchen wir es, sie einer allen genügenden Hypothese anzupassen, so können wir nicht wohl umhin, einen eigenen Wärmestoff (*caloricum;* calorique; *caloric*) als materielles Wesen anzunehmen. Der einzige allgemeine dagegen aufgestellte Einwurf, dafs sie nicht wägbar sey, ist offenbar nichtig, weil er von der *petitio principii* ausgeht, dafs alle Materie wägbar seyn müsse, was *a priori* nicht behauptet werden kann und wogegen, auf die Erfahrung bezogen, eben die Imponderabilien einen Beweis abgeben würden. Dabei ist obendrein zu berücksichtigen, dafs bis jetzt die Unwägbarkeit der Wärme noch keineswegs dargethan ist, obschon es Niemanden gelingen wollte, sie zu wägen, wie im folgenden Abschnitte gezeigt werden soll. Die Vibrationstheorie der Wärme ist bis jetzt durch Niemanden hinlänglich begründet worden, wie J. T. Mayer überzeugend dargethan hat, und in der angegebenen Allgemeinheit und Unbestimmtheit schwerlich einer genügenden Begründung überall fähig. Man mufs dabei entweder in Gemäfsheit der Aehnlichkeit mit den Lichtphänomenen einen eigenthümlichen Aether annehmen und gesteht damit die Materialität des Wärmefluidums ebenso zu, als die des Lichtäthers allgemein zugestanden wird, oder die Wärmephänomene als Wirkungen des modificirten Lichtäthers selbst betrachten. Der Versuch, eine Analogie zwischen dem Schalle und den Wärmephänomenen aufzufinden, ist auf keine Weise mit einer scharfsinnigen Prüfung der Thatsachen vereinbar. Die *Schallschwingungen* eines tönenden Körpers erfordern durchaus freie Beweglichkeit und die Berührung, selbst die leiseste, hebt sie auf, ein erhitzter Körper dagegen verliert von seiner Wärme durch das festeste Einschliefsen nichts, aufser was quantitativ von ihm an die Hülle abgegeben wird, ja durch heftigstes Pressen wird Wärme sogar ausgeschieden, was dem zu vergleichen wäre, wenn eine Stimmgabel durch allseitiges Festklemmen ihrer Zinken in einem Schraubstocke zu tönen beginnen sollte. Wollte man diesen Einwurf durch die Annahme beseitigen, dafs die

Bebungen blofs in den kleinsten Theilchen statt fänden, was mit AMPÈRE's Hypothese übereinstimmen würde, so ist es von der einen Seite bedenklich, nach der unklaren Ansicht der Alten die Naturerscheinungen auf das Verhalten der kleinsten Theile zurückzuführen, von der andern Seite aber zeigt eben die Volumensvermehrung der Körper durch Wärme, dafs nicht blofs die kleinsten, sondern auch die Theile der Körper überhaupt durch die Wärme afficirt werden. Vor allen Dingen sind die Erscheinungen der specifischen Wärme, so wie die, welche dem *Richmann'schen Gesetze* zum Grunde liegen, nach J. T. MAYER[1] mit Undulationen ganz unvereinbar, und zeigen offenbar einen Austausch eines materiellen Stoffes nach quantitativen Verhältnissen, da es in der That unvorstellbar ist, selbst wenn man die höheren Temperaturen als blofse Vermehrungen der Schwingungsmengen betrachten wollte, dafs z. B. bei Mischungen von Wasser die zahlreicheren Schwingungen des heifsen Wassers zu den minder zahlreichen des kälteren hinzukommend in das arithmetische Mittel beider übergehen sollten, da die Schwingungen des Lichtäthers und tönender Körper zwar durch umgebende Substanzen gehindert und aufgehoben, aber nicht unter diese und sie selbst vertheilt werden können. Mehrere leuchtende und tönende Körper vermehren zwar den Effect zur Summe beider Wirkungen, ohne dafs jedoch der eine so viel verliert, als der andere gewinnt. Ist dieses allein als undenkbar schon für sich ein unübersteigliches Hindernifs gegen die Zurückführung aller Wärmephänomene auf Undulationen, so bietet sich eine neue Schwierigkeit in der Vorstellung dar, dafs Körper von bleibender Temperatur sich stets im Zustande gleichmäfsiger Schwingungen oder Schwingungsmengen befinden sollten, und gleich schwierig, wo nicht ganz unvorstellbar würde es seyn, die Erscheinungen der nach genau quantitativen Verhältnissen latent und nach beliebig langer Zeit wieder frei werdenden Wärme auf eine solche Hypothese zurückzuführen. Endlich aber ist die Wärmeleitung der Körper von beliebigem Aggregatzustande mit der Vibrationstheorie ganz unvereinbar; denn der Lichtwellen nicht zu gedenken ist der Fortgang der Schallwellen, die wir doch aus andern Gründen für weit gröber, als die der Wärme halten

---

1 S. dessen oben erwähnte Abhandlung.

müſsten, so unglaublich viel geschwinder, als das Fortschreiten der Wärme selbst in den besten Leitern, daſs man nach Ueberlegung dieser unleugbaren Thatsachen unmöglich noch ferner geneigt seyn kann, dieser eigenthümlichen Vibrationstheorie als allgemeiner Grundlage der Wärmephänomene zu huldigen.

24) Allein wie gewichtig auch diese Argumente seyn mögen, so läſst sich doch auf der andern Seite nicht verkennen, daſs es einige Phänomene giebt, die sich entweder gar nicht oder nur vermittelst sehr gezwungener Hypothesen auf einen nach einfachen und quantitativ bestimmbaren Verhältnissen wirkenden Wärmestoff zurückführen lassen. Namentlich hat man die aus dem Ursprunge der Wärme durch Reibung von den Anhängern der Vibrationstheorie entnommenen Argumente durch künstliche Mittel zwar zur Seite geschoben, aber noch keineswegs genügend widerlegt; denn die Voraussetzung, daſs der in den geriebenen Körpern frei gemachte Wärmestoff an die sie zunächst umgebenden Körper übergehen und der hierdurch bewirkte Abgang durch eine Aufnahme aus weiter entfernten Substanzen wieder ersetzt werden sollte, hat unverkennbar etwas Gezwungenes und sich selbst Widerstreitendes. Auf gleiche Weise ferner, als die gewöhnliche Fortleitung der Wärme durch Körper von der verschiedensten Aggregatform unverkennbar das Gepräge der allmälig fortschreitenden Aufnahme eines materiellen Stoffes nach der verschiedenen Anziehungskraft der individuellen Substanzen trägt, ebenso unverkennbare Aehnlichkeit, oder wohl Gleichheit, haben die Phänomene der von spiegelnden Flächen oder sonst strahlenden Wärme mit der Wellenbewegung des Lichtes und des Schalles. Abgesehen von anderen verschiedenen Phänomenen endlich, die demnächst näher erörtert werden sollen, ist der Ursprung bedeutender Wärmemengen, die namentlich bei verschiedenen Explosionen plötzlich frei werden, nach denjenigen Principien, die man in Gemäſsheit der Theorie eines materiellen Wärmestoffes für andere Phänomene in Anwendung bringt, durchaus unerklärbar, weil bald mehr, bald weniger Wärme zum Vorschein kommt, als wirklich gegeben ist. Dieses bereits erwähnte, durch H. Davy in Beziehung auf das Verbrennen des Schieſspulvers (§. 8) aufgestellte Argument gewinnt an Beweiskraft, wenn man die Wärmeentwickelung bei der Verbindung des Schwefels mit Eisen und andern Metallen (§. 135),

die enorme Hitze des Knallgasgebläses und überhaupt die Wärmeproduction durch Chemismus consequent zu erklären versucht, welche gesammten Phänomene hier blofs anzudeuten genügt, da sie später näher erörtert werden müssen.

25) Wenn daher nicht blofs gewichtige, sondern man darf wohl sagen gleich gewichtige und ohne künstlichen Zwang nicht zu beseitigende Argumente sowohl für die Materialität des Wärmestoffes, als auch für die Vibrationstheorie vorhanden sind, so läfst sich schon im voraus vermuthen, dafs, wie in ähnlichen Fällen gewöhnlich, die Wahrheit in der Mitte liegt. Diesem gemäfs habe ich zuerst in meiner Schrift über das Schiefspulver[1], demnächst in meinem Programme[2] angedeutet, dafs die gangbare Theorie eines materiellen, blofs nach quantitativen Verhältnissen vertheilten Wärmestoffes zwar in einigen Erscheinungen eine unwandelbare Stütze finde, andere aber genügend zu erklären keineswegs hinreiche; später aber[3] habe ich bestimmt den Satz aufgestellt: „dafs verschiedene Wärme-„phänomene nicht sowohl aus einer eigentlichen Vermehrung, „einem Ueberströmen, einer Bewegung des Wärmestoffes, als „vielmehr aus Schwingungen desselben, Undulationen oder „Wellen zu erklären sind, und so wie wir daher bei der Luft „eine Menge Wirkungen aus dem Drucke und der Bewegung „derselben (Aerostatik, Pneumatik), andere dagegen, namentlich „die des Schalles, aus ihren Wellen erklären, ebenso würden „manche Erscheinungen der Wärme auf Vermehrung und Be-„wegung derselben, andere auf wellenartige Schwingungen zu-„rückzuführen seyn.“

Seitdem die Undulationstheorie des Lichtes einen vollständigen Sieg über die Emanationstheorie davon getragen hat und die gehaltvollen Versuche von Melloni und Forbes über die Brechung und Polarisation der Wärmestrahlen die genaueste Uebereinstimmung einer grofsen Menge von Wärmephänomenen mit dem Verhalten des Lichts unwidersprechlich dargethan haben, kann die Existenz von Wärmeundulationen nicht wohl mehr zweifelhaft seyn; diese setzen dann wieder das Vorhandenseyn eines in Wellenschwingungen versetzten

1 Ueber das Schiefspulver. Marburg 1817. 8.

2 Sacra natalitia Divi Caroli Friderici cel. Heidelb. 1820. 4.

3 Handbuch der Naturlehre. Heidelb. 1829. Th. I. S. 453.

materiellen Wesens voraus, die Materialität des Wärmestoffes ist somit als erwiesen zu betrachten, schon deswegen, weil die Lichtstrahlen auch im leeren Raume von Wärmestrahlen begleitet sind, und die streitige Frage geht in eine andere über, ob der Wärmeäther mit dem Lichtäther identisch oder von ihm verschieden sey, die jedoch späteren Untersuchungen vorbehalten bleibt. Vor der Hand dürfen wir als ausgemacht ansehen, dafs die Hypothese, wonach die Wärmephänomene Erzeugnisse der Vibrationen derjenigen Körper selbst und ihrer Theile seyn sollen, worin sie sich zeigen, als den Thatsachen nicht genügend zu verwerfen und vielmehr ein *eigenthümlicher Wärmestoff* anzunehmen sey, welcher theils durch Vermehrung, Verminderung und Uebergang, theils durch Undulationen die von einander wesentlich verschiedenen Erscheinungen hervorbringt. Die Existenz solcher Undulationen als Ursache verschiedener Wärmephänomene kann gegenwärtig kaum mehr zweifelhaft seyn, wie unzweideutige Aeufserungen der Physiker beweisen, unter denen ich vorläufig nur BAUMGARTNER und FORBES nennen will. Ersterer sagt[1]: „nur so „viel scheint ausgemacht, dafs die Annahme eines eigenen, in „der ganzen Welt verbreiteten, höchst feinen, ausdehnsamen „Stoffes, des sogenannten Wärmestoffes, der mit den Körpern „eine Art chemischer Verbindung eingehn soll, zur Erklärung „der Wärmephänomene überhaupt, der in der neuesten Zeit „entdeckten insbesondere, nicht genüge, und dafs höchst wahr„scheinlich die Wärme, wie das Licht, in Schwingungen des „Aethers, vielleicht auch der kleinsten Körpertheile selbst, be„stehe, welche bei den sogenannten warmen Körpern stehende, „bei der im Fortschreiten begriffenen fortschreitende sind, so „dafs demnach schallende, leuchtende und warme Körper zu „einer Classe schwingender Körper gehören, während die Fort„pflanzung des Schalles, des Lichts und der Wärme in Schwin„gungen anderer Art besteht." Nach diesen Ausdrücken erscheint BAUMGARTNER als Anhänger der Vibrationstheorie; weil er aber sonst und auch noch später[2] über die physische Ursache

---

1 Anfangsgründe der Naturlehre. Wien 1837. 8. S. 132.

2 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande u. s. w. von A. BAUMGARTNER und A. v. ETTINGSHAUSEN. 6. Aufl. Wien 1839. S. 412.

G 2

Staatliche Bibliothek Bamberg

der Wärmephänomene zu entscheiden Anstand nimmt, so ist in der mitgetheilten Stelle zunächst nur der zwischen den verschiedenen Aeuſserungen der Wärme festgesetzte Unterschied zu berücksichtigen. Forbes dagegen wurde bei der Erklärung der Erscheinung des durch Trevelyan erfundenen *Thermophons* (§. 284) gezwungen, Wärmewellen anzunehmen, und da er zugleich Anhänger eines Wärmestoffes ist, so kann man sagen, daſs er allerdings verschiedene Wärmephänomene auf Undulationen eines materiellen Wärmestoffes zurückführt.

26) Nach meiner festen Ueberzeugung muſs die anhaltendste und schärfste Prüfung der mitgetheilten Gründe zu der Ueberzeugung führen, daſs die Erscheinungen der Wärme nur durch Annahme eines materiellen Wärmestoffes erklärbar werden, jedoch so, daſs einige derselben bloſs auf quantitativen Verhältnissen der Vermehrung, der Verminderung und des Ueberführens beruhen, andere dagegen als Wirkungen von Undulationen zu betrachten sind. Diese Hypothese ist keineswegs gezwungen, vielmehr haben wir eine auffallende Analogie in den zur Mechanik gehörenden Phänomenen. Wir sind nur zu sehr gewöhnt, die Schallschwingungen als eigenthümliche, den übrigen Bewegungen der Körper unähnliche, zu betrachten; genauer erwägend müssen wir aber zugestehn, daſs beide vereint eine auffallende Analogie mit dem Verhalten der Wärme abgeben. Benutzen wir nur, um einen festeren Anhaltpunct zu haben, diejenigen Erscheinungen, welche die atmosphärische Luft zeigt. Diejenigen derselben, welche auf quantitativen Verhältnissen beruhn, sind allgemein bekannt; wenn wir aber berücksichtigen, daſs die Schallvibrationen in derselben ohne Aenderung ihrer Menge und ohne eigentliche fortgehende Bewegung massive Mauern erbeben machen, so scheint es mir nichts weniger als unnatürlich, anzunehmen, daſs auch die Schwingungen des Wärmeäthers, ohne quantitative Aenderung desselben, feste Körper in heftige Bebungen versetzen und den in ihnen befindlichen Aether zu ähnlichen Vibrationen veranlassen können. Der Annahme eines Wärmeäthers scheint aber ebenso wenig ein Hinderniſs im Wege zu stehen, als der eines Lichtäthers, dessen Existenz man gegenwärtig überall nicht in Zweifel zieht. Wir wollen vorerst diese Hypothese benutzen, um bei der folgenden Untersuchung der verschiedenen Erscheinungen diejenigen zu bezeichnen,

welche auf quantitative Verhältnisse des Wärmestoffes und welche auf Undulationen desselben zurückzuführen sind.

27) Ueber das eigentliche Wesen dieses Wärmeäthers schon jetzt etwas bestimmen zu wollen wäre auf jeden Fall zu voreilig, da uns diese Aufgabe in Beziehung auf den Lichtäther noch nicht gelungen ist, dessen Verhalten, im Ganzen viel einfacher, wir bei weitem genauer kennen. La Place[1] betrachtet den Wärmestoff zunächst in Beziehung auf die Gasbildung als ein sehr feines ätherisches Fluidum, dessen Molecüle mit Repulsivkraft versehen sind, worüber jedoch schon an einem andern Orte[2] das Nöthige gesagt worden ist. John Barton[3] folgt seinen Ansichten und glaubt, daſs die Phänomene der Wärme weit einfacher durch Annahme eines materiellen Stoffes, als aus Undulationen der vorhandenen Körper erklärt werden können, wobei wohl ohne Zweifel Undulationen der Theile fester, flüssiger und gasförmiger Körper selbst, nicht aber des zwischen ihnen befindlichen Wärmestoffes, gemeint sind. Die Molecüle des Wärmestoffs denkt er sich sehr klein im Verhältniſs zu denen der wägbaren Materie, die letzteren aber klein im Verhältniſs zu den Intervallen zwischen ihnen, was mit Newton's Ansichten übereinstimmt. Hieraus wird dann gefolgert: 1) Die Wärmemolecüle, welche die der Körper berühren oder sich in elliptischen Bahnen um sie bewegen, können sich nur durch einen gewissen Impuls entfernen und geben die latente Wärme. 2) Durch Reiben u. s. w. werden die in Ellipsen bewegten Wärmemolecüle aus ihren Bahnen getrieben, weswegen gehämmertes Metall durch den Verlust seiner latenten Wärme spröde wird. 3) Bestehen Körper aus elliptischen Molecülen, so werden die Wärmemolecüle sich um ihre Mitte anhäufen, woraus die ungleiche Ausdehnung nach Mitscherlich erklärbar wird. 4) Bei einem gewissen Verhältniſs der attractiven und repulsiven Kräfte gleicht die Bahn der Wärmemolecüle einer Conchoide, die Bahn der Wärme gleicht in diesem Falle bei diathermanen Körpern einer geraden Linie; die adiathermanen Körper lassen auch Wärme durch, aber erst nachdem die Wärmemolecüle die Molecüle der Körper mehr-

---

1 Méc. cél. T. V. Chap. XII. p. 90 ff.
2 S. Art. *Gas.* Bd. V. S. 1056.
3 London and Edinb. Phil. Mag. N. LXII. p. 342.

mals umkreiset haben und wiederholt von der Oberfläche der Körper in deren Inneres gezogen worden sind. 5) Die Molecüle der Körper werden durch zwei Kräfte angezogen, durch die Anziehung gegen einander und gegen die Wärmeatmosphären der andern, durch zwei Kräfte abgestofsen, nämlich durch die Repulsion der Wärmeatmosphären und die Molecüle der sensibeln Wärme, die sich zwischen ihnen befinden. Diese Kräfte erzeugen den Zustand des stabilen Gleichgewichts, insofern die Attractivkraft mit der Zunahme des Abstandes in einem geringeren Verhältnisse abnimmt, als die Repulsivkraft; wenn aber die Theilchen der sensibeln Wärme vermehrt werden, so dehnt sich der Körper aus und das stabile Gleichgewicht wird abermals hergestellt. Erreicht aber die Ausdehnung einen gewissen Punct, so verwandeln sich die Bahnen der umkreisenden Wärmemolecüle aus der hyperboloidischen Form in die ellipsoidische und eine gewisse Quantität derselben wird also latent. Gleichzeitig wird eine andere Menge sensibeler Wärme von aufsen aufgenommen, die gesammte Summe überwindet die Attractivkraft und es tritt Dampfbildung ein. 6) Wenn flüssige Körper sich beim Festwerden ausdehnen, so ist dieses Folge anderweitiger Kräfte, z. B. derer, die aus der Gestalt der Molecüle hervorgehn. 7) In der Lage gröfster Anziehung der Molecüle fester Körper sind ihre ausspringenden Winkel einander zugekehrt, woraus folgt, dafs beim Erstarren die Bahnen einer Quantität von Wärmemolecülen aus der ellipsoidischen Form in die hyperboloidische übergehen und daher ein Theil der latenten Wärme frei wird. 8) Je gröfser die Molecüle sind, desto besser leiten die Körper die Wärme und desto schlechter strahlen sie dieselbe aus; denn die Geschwindigkeit der Bewegung wächst mit der Masse, an der Oberfläche aber wird die Wärme durch die stärkere Anziehung der gröfseren Molecüle mehr zurückgehalten, weswegen die Metalle die besten Leiter und die schlechtesten Ausstrahler sind. Wenn Barton endlich die scheinbare Abstofsung gewisser Körper und die Erscheinungen der Capillardepression von den Wärmeatmosphären ableitet und die Bahnen der Wärmemolecüle, welche die latente Wärme bilden, mit den elliptischen der Planeten und Trabanten, derer aber, welche die strahlende Wärme erzeugen, mit den parabolischen und hyperbolischen der Kometen vergleicht, so ist dieses wohl nur für ein sehr freies Spiel der Phantasie, und die ganze, von ihm aufge-

stellte Hypothese keineswegs für genügend begründet zu halten.

28) Es ist oben[1] bemerkt worden, daſs La Place das eigentliche Wesen der Wärme unbestimmt läſst. In dieser Beziehung hat Barton's Ansicht entschiedene Vorzüge, sofern man dieselbe in Gemäſsheit der näheren Bestimmung besser prüfen und Gründe für und wider dieselbe aufstellen kann. Es giebt offenbar einen besseren Anhaltpunct, wenn man sich die Wärme als aus sehr kleinen, mit Repulsivkraft begabten Molecülen bestehend denkt, die zwar eben wegen ihrer unbestimmbaren Feinheit unvorstellbar für uns seyn müssen, die wir bloſs zur Anschauung meſsbarer Körperchen zu gelangen vermögen, inzwischen läſst sich doch eine Anziehung der gröberen Körpermolecüle gegen die feineren Wärmemolecüle und eine Abstoſsung dieser letzteren unter sich einigermaſsen vorstellbar machen. Da man aber bei der Erörterung der Naturerscheinungen irgend eine Hypothese als Anhaltpunct zum Grunde legen muſs und die angegebene von La Place und Barton viel für sich hat, wenn man einstweilen die angenommenen verschiedenen Bahnen als noch unerwiesen und minder nöthig ausschlieſst, so wollen wir bei den folgenden Betrachtungen einen materiellen Wärmestoff annehmen und versuchen, wie weit sich diese Hypothese den Erfahrungen anpassen läſst.

29) Noch müssen wir hier eine Hypothese erwähnen, welche, von Berzelius[2] aufgestellt, schon wegen dieses durch Scharfsinn ebenso sehr als durch groſsen Umfang von Kenntnissen ausgezeichneten Erfinders nicht wenige Anhänger erhalten hat. Hiernach existirt zwar ein eigentlicher Wärmestoff als unwägbare, ätherartige Substanz, deren Verhalten eigenthümlichen Gesetzen unterworfen ist, allein sie ist nicht einfach, sondern aus positiver und negativer Elektricität zusammengesetzt. Da es hier vorzüglich auf die Frage abgesehen ist, ob wir einen eigenthümlichen Wärmestoff anzunehmen haben, diese aber nach dieser Theorie bejahet wird, später aber (§. 218 u. 226) von Erregung der Wärme durch Elektricität besonders die Rede seyn wird, so läſst sich die Prüfung dieser Hypothese am bequemsten an die genannten Untersuchungen über diese specielle Wärmequelle anknüpfen.

1 S. Art. *Gas.* Bd. V. S. 1074.

2 Versuch über die chemischen Proportionen. S. 79.

## B. Wägbarkeit der Wärme.

30) Man hat sehr allgemein, namentlich von Seiten der Naturphilosophen, der Materialität der Wärme, des Lichtes, der Elektricität und des Magnetismus ihre Unwägbarkeit als ganz entscheidendes Argument entgegengesetzt, so wenig beweisend dasselbe auch ist, da gegenwärtig wohl niemand an der Materialität des Lichtäthers zweifelt, welchen man wegen seiner allgemeinen Verbreitung durch den ganzen Weltraum doch unmöglich für schwer halten kann. Merkwürdig aber ist dabei der Umstand, dafs niemand, so viel ich weifs, die factische Unwägbarkeit dieser sogenannten Imponderabilien in Zweifel gezogen und sie zu wägen versucht hat, aufser bei der Wärme. Die Ursache hiervon liegt vermuthlich darin, dafs das Licht sich nicht wohl in Körpern fixirt, denn bei den sogenannten Lichtsaugern hielt man die vorhandene Menge vermuthlich überall zu gering, als dafs auch die feinste Waage davon afficirt werden könnte, wenn man auch nach der bei einigen Physikern herrschenden Ansicht eine wirkliche Aufnahme und nachherige Ausscheidung des Lichtstoffes annahm; einem elektrisirten Körper ist zwar nach Franklin elektrisches Fluidum zugeführt, allein die Anziehung, welche ein solcher nach allen Seiten hin ausübt, und die augenblicklich beginnende Ausströmung der Elektricität mochte wohl von jedem Versuche einer Wägung abschrecken, der Magnetismus aber wurde stets auf eine Trennung zweier, früher vereinter Magnetismen zurückgeführt, wonach überall keine Gewichtsvermehrung statt finden konnte; blofs bei der Wärme hat man schon frühe die Frage über ihre Wägbarkeit aufgeworfen, weil die Erscheinungen, welche sie darbietet, in der That auf ein Hinzukommen eines gewissen Etwas hindeuten, und wenn man die Wahrheit berücksichtigt, dafs die Natur überall keinen Sprung macht, so war es keineswegs unphilosophisch, die Vermuthung zu hegen, dafs im Uebergange von den gewichtigern Körpern zu den minder gewichtigen die Wärme die äufserste Grenze bilden und nur unmefsbar schwer seyn könne[1]. Ver-

---

1 Es kann hier nur vom Gewichte der Wärme an sich die Rede seyn, nicht von einer Gewichtszunahme durch Feuer erzeugt. Allerdings werden Metalle durch Verkalkung in der Hitze schwerer, was manche Aeltere einem Hinzukommen des Feuers zuschrieben, z. B.

hielte sich wirklich das Gewicht der Wärme zu dem des Wasserstoffgases unter atmosphärischem Drucke oder gar zu dem des Wasserdampfes in niedriger Temperatur, wie dieses zum Platin, so würde eine wirkliche Wägung stets unmöglich bleiben, woraus von selbst folgt, dafs alle bisherigen Versuche, die Wärme zu wägen, wenn sie auch ein negatives Resultat geben, dennoch die vorliegende Frage zu beantworten nicht vermögen.

31) Bei den eigentlichen Anhängern des Cartesius konnte die Frage über die Wägbarkeit der Wärme nicht füglich aufgeworfen werden, denn nach seiner Philosophie gehörte das Feuer zur sublimen Materie und war das Resultat der Bewegung dieses ersten Elementes. Wir können daher die Geschichte dieser Untersuchungen mit Boerhave[1] beginnen, welcher die Schwere der Wärme bezweifelt, weil das Feuer im ganzen Weltraume gleichmäfsig vertheilt sey und blofs Elasticität besitze. Kein Naturforscher aber hat sich mehr Mühe gegeben, die Wärme selbst vorerst dem Auge sichtbar zu machen, als Marat[2]. Hierzu bediente er sich des Sonnenmikroskops in einem verfinsterten Zimmer, wodurch er die aufsteigenden Wärmetheilchen so stark zu vergröfsern hoffte, dafs sie durch das Auge wahrnehmbar würden. Von glühenden Körpern glaubte er etwas in Gestalt feuriger Wellen aufsteigen zu sehn, was nach seiner Meinung Verwandtschaft gegen Wasser, Salze, Erden, Metalle, das Phlogiston und das Licht äufserte und daher von der Lichtmaterie, dem Phlogiston und der elektrischen Materie verschieden seyn mufste. Er nannte dieses *feurige Flüssigkeit* (fluide igné) und erklärte es für eine eigene Substanz, deren Bestandtheile er durchsichtig, schwer, äufserst hart, kugelförmig und ausnehmend klein finden wollte. Er brachte in den Lichtkegel seines Mikroskops theils solche Körper, die durch das Feuer zerstört werden, als eine brennende Wachskerze, glühende Kohlen u. s. w., theils auch nicht zerstörbare, als glühende Metalle, Porcellan, Bergkrystall u. s. w., und sah dann stets auf

---

Lucretius de Rer. Nat. L. II. v. 185 und Andere. Vergl. Musschenbroek Introd. §. 1578.

1 Elementa Chym. T. I. p. 175 u. 306.

2 Découverte sur le feu, l'électricité et la lumière. Paris 1779. 8. Deutsch mit Anm. von Weigel. Leipz. 1783. Recherches sur le feu. Par. 1780. 8.

der reflectirenden Wand einen aufsteigenden weifsen Cylinder, der sich oben erweiterte und in kräuselnde Wellen ausbreitete, zugleich auch durch den Luftstrom eines Blasebalges sich seitwärts beugen liefs. Es darf wohl kaum bemerkt werden, dafs theils die zersetzten Theile der Körper, theils der aufsteigende Luftstrom diese Erscheinungen hervorbrachten. MARAT versuchte auch die später so oft wiederholten Wägungen und fand sonderbarer Weise, dafs heifse Körper schwerer würden, vermuthlich weil er dieses Resultat mit Gewifsheit erwartete. Eine 6 Unzen schwere silberne Kugel wog beim Rothglühen 5,5 Gran mehr und eine 15 Unzen 6 Qt. schwere kupferne Kugel hatte weifsglühend 2 Gran mehr, nach dem Wiedererkalten aber 3 Gran weniger Gewicht, wonach MARAT das Feuer für schwerer hält, als die Luft. Zu einem ähnlichen Resultate gelangte ROB. BOYLE[1] durch seine Wägungen erhitzter Körper, und auch HOMBERG[2] folgerte die Schwere der Wärme daraus, dafs 4 Unzen Antimon, dem Focus des grofsen Brennglases in Paris ausgesetzt, 3 Drachmen an Gewicht zugenommen hatten. BOERHAVE versicherte dagegen, dafs er bei seinen Versuchen nie zu einem solchen Resultate gelangt sey, und MUSSCHENBROEK[3] bestreitet die Zulässigkeit solcher Wägungen überhaupt, weil ein heifser Körper in einer leichteren umgebenden Luft gewogen werde, als ein kalter, obwohl sich hierfür wohl eine annähernde Correction auffinden liefse, wenn nicht andere Hindernisse im Wege ständen. Uebrigens hielt er die Wärme nicht blofs für materiell, sondern auch für schwer, obgleich für so unmerklich, dafs seine Waage keine Aenderung des Gewichts anzugeben vermöge, und er widerlegt daher den Schlufs, welchen DU HAMEL[4] aus seinen Wägungen eiserner Körper entlehnte, dafs die Wärme das Gewicht der Körper vermindere, wonach sie also negativ schwer seyn müfste.

32) Diese und viele andere ältere Physiker wurden offenbar durch die Gewichtsvermehrung irre geleitet, welche der Zutritt des Sauerstoffs bei der Calcination verursacht, und über-

---

1 De ponderabilitate flammae. In Opp.
2 Hist. de l'Acad. 1709. Cours de Chim. chap. V.
3 Introd. §. 1581.
4 Historia Acad. Reg. Scient. L. I. sect. 2. cap. 1.

haupt waren sie gewohnt, wenn sie sich auch nicht ausdrücklich darüber äufserten, den Begriff der Schwere mit dem Begriffe der Materialität zu vereinigen, denn MUSSCHENBROEK glaubte sogar, dafs die Sonnenstrahlen, die er doch für so aufserordentlich fein hielt, in den Körpern verdichtet würden und dadurch eine Gewichtsvermehrung hervorbrächten. Angemessener sind daher diejenigen Versuche, wodurch man den unmittelbaren Einflufs der Wärme auf das Gewicht der Körper zu ermitteln suchte. So erzählt KRAFT [1] von einem Versuche, welchen CANDIDUS BUONO zu Florenz anstellte, indem er der Waagschale einer empfindlichen Waage ein heifses Eisen näherte und sie leichter fand, das Eisen mochte über oder unter ihr gehalten werden, was aber KRAFT von ihrer Ausdehnung ableitet, in deren Folge sie ein gröfseres Volumen Luft aus der Stelle treibe. Bekanntlich ist jedoch dieses die Ursache nicht, oder mindestens nur zu einem geringen Theile, welche bewirkt, dafs erhitzte Körper auf der Waagschale leichter zu seyn scheinen, sondern die Erwärmung der Luft über und neben denselben erzeugt eine aufsteigende Strömung, welche zugleich die Körper, namentlich aber die Waagschale, mit sich in die Höhe reifst [2]. Diese richtige Erklärung gab schon BOERHAVE [3], als er fand, dafs von zwei gleichen Metallstäben der eine leichter werde, wenn man eine glühende Kohle über ihn, und schwerer, wenn man sie unter ihn halte. So wie MARAT, wollte auch BUFFON [4] erhitzte Körper schwerer, als kalte, gefunden haben, wonach also die Wärme ein positives Gewicht haben müfste, statt dafs die durch Andere, namentlich durch WHITEHURST und ROEBUCK [5] mit Gold und Eisen erhaltenen Resultate auf eine negative Schwere derselben führten. Am bekanntesten sind die durch FORDYCE [6] angestellten Versuche geworden. Dieser fand stark erhitztes Gold leichter als kaltes, und

1 Praelect. in Phys. P. I. §. 163.

2 Vergl. Library of useful knowledge. Nat. Phil. 1829. T. I. Heat. p. 1.

3 Elementa chemiae. L. B. 1732. T. I. p. 244.

4 Hist. Nat. Suppl. T. II. p. 11.

5 Journ. de Phys. T. XIII. Suppl. p. 111.

6 Phil. Trans. 1785. T. LXXV. P. II. N. 21. Goth. Mag. Th. IV. St. 4. S. 49. V. Crell chem. Ann. Th. I. S. 161. Gren Journ. Th. VII. S. 30. Scherer's Journ. Th. II. S. 736.

als er 1700 Gran Wasser in einem hermetisch verschlossenen Gefäfse gefrieren liefs, erhielt dasselbe eine Gewichtsvermehrung von $\frac{1}{16}$ Gran. Guyton de Morveau, Gouvenain und Chaussier wiederholten diesen Versuch und erhielten nicht blofs gleiche Resultate, sondern fanden auch, dafs 2 ℔. Vitriolöl im gefrorenen Zustande um 3 Gran schwerer waren, als im flüssigen[1]. Diese Resultate bewogen später Gren[2], dem Phlogiston eine negative Schwere beizulegen, wie bereits erwähnt worden ist. Mehrere Versuche, die zur Lösung dieser Aufgabe dienen sollten, sind auch durch Eimbke[3] angestellt worden. Dieser wog Glascylinder zuerst kalt, dann bis zum Glühen erhitzt, und fand sie im letztern Zustande allezeit leichter als im erstern. Um dabei die Ausdehnung der umgebenden Luft zu vermeiden, schlofs er die Cylinder in hölzerne, mit Messing ausgefütterte Kapseln ein. Ferner wog derselbe Kalk und Wasser, welche sich in einem verkorkten Medicinglase befanden, vor dem Löschen und dann wieder nach dem Erkalten. Diese Versuche wurden mit mehrfachen Modificationen angestellt, auch bildeten gleich grofse Gläser, als diejenigen, welche Kalk und Wasser enthielten, das Gegengewicht, um manometrische Einflüsse zu vermeiden; allezeit aber zeigte sich nach dem Entweichen der Wärme eine mefsbare Zunahme des Gewichts, wonach also der Wärmestoff nothwendig eine negative Schwere haben müfste. Ja sogar als Eimbke ein verkorktes Glas, worin sich Erbsen im Wasser befanden, mit einem andern gleichfalls verkorkten Glase mit Wasser ins Gleichgewicht gesetzt hatte und das Wasser durch die Erbsen aufgesogen war, zeigte sich eine Gewichtszunahme, die vom Eindringen des Wassers in die Erbsen und der hierdurch frei gewordenen Wärme abgeleitet wurde. Gehler[4] zeigt aber genügend die grofsen Schwierigkeiten, die der Genauigkeit der Resultate aus solchen Versuchen entgegenstehn und sich zum Theil selbst aus den mitgetheilten Thatsachen entnehmen lassen, weswegen auch Fordyce selbst die negative Schwere des Wärmestoffs für ganz unvorstellbar erklärt.

---

1 Journ. de Phys. 1785. Oct.

2 Grundrifs d. Naturl. §. 427. Syst. Handb. d. ges. Chemie. Th. I. §. 295 u. a. a. O.

3 Gren's Journ. d. Phys. Th. VII. S. 30.

4 Wörterb. Th. V. S. 939.

33) Betrachtet man die Aeufserungen der älteren Physiker etwas näher, so ergiebt sich bald, dafs beide Parteien durch die unrichtige Deutung allbekannter Erscheinungen irre geführt wurden und dann die Resultate ihrer Versuche nach ihren vorgefafsten Meinungen deuteten. Diejenigen, welche die Gewichtsvermehrung so vieler Körper wahrgenommen hatten, die anhaltend der Einwirkung des Feuers ausgesetzt gewesen waren, leiteten diesen Erfolg von einem Hinzukommen der Feuermaterie oder des Wärmestoffes ab, und gelangten hierdurch zu der Ueberzeugung, dafs diese Substanz schwer seyn müsse; andere dagegen, welche vorzugsweise das Aufsteigen erhitzter und dadurch specifisch leichter gewordener oder durch den Luftstrom emporgehobener Körper ins Auge fafsten, fanden die Ursache hiervon in der Wärme und legten dieser daher eine negative Schwere bei. Dieses ergiebt sich deutlich aus dem, was Lambert[1] über das Aufsteigen der Flamme und der Wärme, wie er es nennt, eigentlich der warmen Luft, sagt, wobei ihn jedoch sein Scharfsinn abhält, die offenbar an sich unzulässige Hypothese einer negativen Schwere des Wärmestoffes anzunehmen, den er vielmehr nur leichter, als die Luft, nennt. Ebendiese Bewandtnifs hat es mit Achard's[2] Versuchen, welcher heifse Kugeln zwischen vertical über einander aufgehangene Thermometerkugeln brachte und dabei ein Aufsteigen der Wärme wahrnehmen wollte.

34) Dafs auf die bisher angezeigte Weise die vorliegende Frage nicht beantwortet werden könne, ist für sich klar, und im Allgemeinen mufs man bezweifeln, dafs dieses überhaupt möglich sey. Der einzige Weg, auf welchem man vielleicht zu diesem Ziele zu gelangen vermöchte, dürfte seyn, zu versuchen, ob die bei verschiedenen Mischungen der Körper frei oder latent werdende Wärme eine mefsbare Veränderung des Gewichts der Körper bewirkt. Am geeignetsten hierzu dürften Schnee und salzsaurer Kalk seyn, die beim Schmelzen eine so grofse Menge Wärme verschlucken, oder noch leichter Schwefelsäure und Wasser, die bei ihrer Vereinigung eine bedeutende Quantität Wärme abgeben, wäre es nur möglich, während dieser Processe das Hinzukommen oder Abgeben materieller Stoffe von

---

1 Pyrometrie. 6tes Hauptst. S.

2 Mém. de l'Acad. de Berlin. Ann. 1788 et 1789. Berl. 1793.

und nach aufsen gänzlich zu verhüten. Versuche dieser Art, die jedoch in der genannten Beziehung eine strenge Kritik nicht bestehn, haben MOSCATI[1] und EBEL[2] angestellt, woraus hervorging, dafs die bei ihrer Vereinigung Wärme entbindenden Körper leichter, die Wärme bindenden dagegen schwerer wurden, wonach also die Wärme ein mefsbares Gewicht haben müfste. Ihre Versuche sind wohl unter allen die beachtenswerthesten und zeigen wenigstens die zu betretende Bahn, wenngleich die dabei obwaltenden Schwierigkeiten unüberwindlich seyn mögen. MOSCATI, nicht befriedigt durch die Versuche des BARTHOLOMÄUS DE SANCTIS[3], wog Schwefelsäure und Wasser einzeln, gofs sie dann zusammen und fand während der hierdurch entstehenden Erhitzung eine Zunahme des Gewichts, die nach dem Erkalten wieder verschwand. THOMAS EBEL bediente sich einer Waage, die auf 0,25 Gr. einen Ausschlag gab, wog zwei Flaschen, die eine mit Wasser, die andere mit Schwefelsäure zur Hälfte gefüllt, mischte dann beide Flüssigkeiten mit Vermeidung jedes Verlustes durch Verdampfung und fand sie hiernach um 1,5 Gr. leichter, welches er dem Verluste durch die frei gewordene Wärme beilegte. Ferner vermengte er 11 Theile Salmiak, 10 Th. Salpeter, 16 Th. Glaubersalz, 32 Th. Wasser, alles 2 Unzen betragend, verstopfte sogleich das Gefäfs, trocknete es nachher wieder und fand 0,5 Gr. Gewichtszunahme. Man war diesemnach geneigt, dem Wärmestoffe Schwere beizulegen, bis die Aufgabe nach der Ansicht fast aller Physiker durch die bekannten Versuche RUMFORD's[4] zur definitiven Entscheidung gebracht wurde. Dieser füllte sogenannte Florentiner Phiolen mit Wasser, Weingeist und Quecksilber, verschlofs sie hermetisch, brachte sie auf einer feinen Waage, die noch 1 Milliontel des Totalgewichts anzeigte, ins Gleichgewicht, liefs sie von 16°,11 C. bis — 1°,67 erkalten, wog sie dann wieder und fand ihr Gewicht ganz unverändert. Der Luftzug im Zimmer, das Ansetzen von Staub und Feuchtigkeit, so wie sonstige

---

1 Biblioth. Brit. T. XLVI. p. 403.

2 Medical Repos. 1805. Jan. Bibl. Brit. T. XXXVIII. 393.

3 Journ. de Phys. T. LXXII. p. 127.

4 Philos. Trans. T. LXXXIX. p. 179. G. V. 206. Scherer's Journ. Th. V. S. 53. Biblioth. Brit. T. XIII. p. 238.

störende Einflüsse waren sorgfältig vermieden, und da sich dennoch nicht der mindeste Unterschied des Gewichts zeigte, ungeachtet das Wasser in Folge seiner viel gröſseren specifischen Wärmecapacität ungleich mehr Wärme verlieren muſste, hauptsächlich aber durch das Gefrieren eine ausnehmende Quantität verlor, so schlieſst Rumford mit Recht, daſs seine Waage, ihrer ausnehmenden Feinheit ungeachtet, ein wahrnehmbares Gewicht der Wärwe anzuzeigen nicht vermochte. Die Versuche, gegen deren Genauigkeit sich nicht wohl Einwendungen machen lassen, sind allerdings wichtig, daſs sie aber die absolute Unwägbarkeit der Wärme dennoch nicht beweisen können, ist bereits oben nachgewiesen worden.

35) Neuerdings hat P. W. Holland[1] dieses Problem von einer eigenthümlichen Seite aufgefaſst. Er giebt zu, daſs die feinsten Waagen das Gewicht der Wärme nicht anzugeben vermögen, denn ungeachtet z. B. beim Verbrennen von Knallgas eine so bedeutende Menge Wärme frei wird, so wiegt doch das Wasser genau so viel, als die Summe der beiden vereinten Gasarten. Nach seiner Ansicht aber kann die Wärme nicht schwer seyn, denn sie giebt kein Moment ihrer Bewegung, weil sonst die von der Sonne ausgehende und den Planeten zuströmende eine Störung der Bahnen dieser letzteren zur Folge haben müſste. Hierbei widerlegt er das sehr leicht sich darbietende Argument, daſs die überwiegende Anziehung der Himmelskörper dieses Hinderniſs leicht überwinden könne, durch die ungleiche Dichtigkeit der verschiedenen Himmelskörper, die also hiernach einem gleichen Impulse ungleiche Flächen darbieten und somit einen Unterschied zeigen müſsten; allein es steht der Argumentation hauptsächlich entgegen, daſs ein solches vorausgesetztes Ausströmen der Wärme aus der Sonne noch gar nicht erwiesen worden ist, viel weniger aber die Geschwindigkeit einer solchen Bewegung; denn wenn man letztere der des Lichtes gleich setzt, so beruht dieses auf einer irrigen Vorstellung der Lichtbewegung, indem zwar die Lichtwellen mit der bekannten Geschwindigkeit fortschreiten, der Lichtäther selbst aber dabei ohne alle fortgehende Bewegung seyn kann und ohne Zweifel wirklich ist.

---

1 London and Edinburgh Philos. Magazine. N. LV. p. 396.

36) Ein hierher gehöriger Versuch, welchen Pictet[1] in Verbindung mit Sennebier anstellte, machte zu seiner Zeit viel Aufsehen, wurde aber nachher vergessen, weil die Aufmerksamkeit der Physiker zu sehr durch die neu gestalteten Erscheinungen des Voltaismus in Anspruch genommen wurde, obgleich es sich wohl der Mühe lohnen dürfte, ihn mit gehörigen Modificationen zu wiederholen. Pictet erhitzte im luftverdünnten Raume einen Messingstab in seiner Mitte durch ein Brennglas, und fand, dafs allezeit das obere Ende, welches er auch dazu nehmen mochte, schneller und stärker warm wurde, als das untere, und er legt deswegen dem Wärmestoffe ein der Schwere entgegengesetztes Bestreben (*tendance anti-grave*) bei. Gehler[2] meint, die gebrauchte Glasröhre, worin sich der Stab befand, sey nicht vollkommen luftleer gewesen, und es habe daher die aufsteigende verdünnte Luft dem obern Ende Wärme zugeführt, auch könne die Nähe des Luftpumpentellers das untere Ende abgekühlt haben. Wie weit diese Erklärung genügend sey, läfst sich aus der Beschreibung des Versuchs nicht genau bestimmen; auf jeden Fall war verdünnte Luft im Raume vorhanden und mufste daher von der erwärmten Mitte aufsteigen. Wünsch[3] hat eine ausführliche Erklärung dieses Resultates versucht, die aber zu weitläuftig und zu wenig befriedigend ist, als dafs ich sie hier mittheilen sollte. Ungleich richtiger und der Sache angemessener äufsert sich de Luc[4]

---

1 Essais de Physique. Génève 1790. T. I. chap. 2. Versuch über das Feuer. Aus d. Franz. Tüb. 1790. 8. Die Mitglieder der Akademie del Cimento befestigten zwei Thermometer, deren Kugel etwa zwei Zoll von einander abstanden, die Scale des einen nach oben, des andern nach unten gerichtet, in eine weite Glasröhre, welche in der Mitte zwischen beiden Thermometerkugeln concav eingedrückt war, verlängerten die weite Röhre durch eine hinlänglich lange engere, und erzeugten vermittelst eingegossenen Quecksilbers und Umkehrens ein Torricelli'sches Vacuum. In die Vertiefung der weitern Röhre zwischen die Kugeln beider Thermometer wurde dann ein erhitzter Metallstab gehalten, und wirklich stieg das obere Thermometer zuerst; allein darauf liefs sich die Folgerung einer aufwärts gerichteten Tendenz der Strahlung nicht gründen, weil der Einflufs der Wandungen nicht vermieden war.

2 Wörterbuch. Th. IV. S. 549.

3 G. XXVI. 289.

4 Journ. de Phys. 1790. Nov. p. 232. Gren's Journ. Th. V. S. 460.

über dieses allerdings auffallende Verhalten der erwärmten Stange. Er bezweifelt nicht, daſs sich dasselbe aus Naturgesetzen genügend erklären lasse, es berechtige aber als isolirte Erscheinung noch nicht, ein eigenthümliches Emporstreben des Wärmestoffes anzunehmen, dessen negative Schwere überhaupt durch das unübersteigliche Argument widerlegt werde, daſs die Wärme sonst die Erde verlassen müsse, gegen welche sie vielmehr gravitire. Configliachi[1] hat diese Versuche wiederholt, indem er verschiedene Metallstangen, jedesmal am untern und obern Ende mit Thermometern versehn, in eine weite Glasröhre brachte, in letztere inwendig oben und unten noch ein Thermometer befestigte und sie auch auswärts mit zwei Thermometern versah, dann in dem entweder lufterfüllten oder bis auf eine Linie Quecksilberhöhe exantlirten Raume den Focus einer 9zolligen Linse gegen die jedesmal gewählte Stange fallen lieſs und den Gang dieser 6 Thermometer nach bestimmten Zeitintervallen aufzeichnete. Im Ganzen ergab sich, daſs anscheinend ohne Mitwirkung der Luftströmungen die Stangen oben früher als unten Wärme annahmen und später wieder abgaben.

37) Versuchen wir es, durch die vorliegenden Thatsachen zu einer definitiven Entscheidung der Frage über die Schwere des Wärmestoffes zu gelangen, so ist es auf jeden Fall durch Rumford sehr unwahrscheinlich gemacht, daſs eine wirkliche Wägung der Wärme durch die zu Gebote stehenden Mittel möglich seyn sollte. Zu einer nochmaligen Wiederholung dieser Versuche kann man kaum rathen, weil der Wärmestoff vermuthlich zu fein ist, als daſs er überhaupt auf diese Weise gewogen werden könnte, mehr lieſse sich von viele Wärme bindenden oder frei machenden Mischungen hoffen. Damit wäre aber ihre Unwägbarkeit selbst im Falle bloſs negativer Resultate ebenso wenig erwiesen, als die instantane Bewegung des Lichts durch die älteren Bemühungen, dessen Geschwindigkeit aufzufinden, da diese auf keine Weise bekannt geworden wäre, wenn man nicht Mittel gefunden hätte, sie in himmlischen Räumen zu messen. So viel läſst sich aber mit Gewiſsheit be-

---

1 Brugnatelli giornale di Fisica, Chimica e Storia naturale. T. V. p. 59. Die versprochene Fortsetzung dieser Abhandlung finde ich nicht.

stimmen, dafs die Wärme keine *negative Schwere* habe, denn hiermit müfste zugleich eine Anziehung zur wägbaren Materie verbunden seyn oder nicht. Im ersten Falle würde es eine grobe Inconsequenz seyn, ihr Anziehung zur wägbaren Materie beizulegen und unsere Erde von der letztern auszuschliefsen, im zweiten müfste sie, für sich allein der negativen Schwere folgend, sehr bald unsere Erde gänzlich verlassen. Berücksichtigen wir aber die ebenso bekannte als unleugbare Thatsache, dafs die Wärme durch alle uns bekannte Körper festgehalten wird, sofern sie keinen derselben augenblicklich verläfst, sondern nur allmälig ausströmt, indem sie an die Umgebungen übergeht, so mufs sie auch durch die ganze Erde zurückgehalten werden, was man immerhin eine Gravitation nennen und der Schwere vergleichen könnte. Inzwischen müfste die Erde während der mehrern Jahrtausende, in denen nach historischen Beweisen sich ihre Temperatur nicht merklich geändert hat[1], sich mit der umgebenden Atmosphäre längst ins Gleichgewicht gesetzt haben, um so mehr, als hierbei nicht blofs die gewöhnliche Ableitung der Wärme in Betracht kommt, sondern auch das stete Aufsteigen der an der Erdoberfläche erwärmten Luftschichten bedeutend mitwirkt. Unter diesen gegebenen Umständen mufs es als räthselhaft erscheinen, dafs die die Erde umgebende Wärmeatmosphäre nach oben an Intensität so bedeutend abnimmt. Man sucht dieses daraus zu erklären, dafs die aufsteigende und dadurch dünner werdende Luft mehr Wärme bindet; allein einestheils müfste sich dieses doch endlich ausgleichen, wie denn wirklich in den höchsten eingeschlossenen Räumen die obern Luftschichten allezeit wärmer sind, als die untern, anderntheils ist oben[2] bereits erwiesen worden, dafs die Temperaturabnahme in der Höhe ungleich gröfser ist, als sie durch diese Ursache werden könnte. Nehmen wir dieses alles zusammen, so führt es einfach zu dem, keinem Naturgesetze widerstreitenden, mit vielen anderweitigen Erscheinungen aber genau übereinstimmenden Resultate, wonach unsere Erde gleichsam als Träger der gesammten, ihr zugehörigen Wärmemenge zu betrachten ist, die von ihr zurückgehalten nach innen die gröfste Intensität hat und sie als At-

---

1 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 572 ff.
2 S. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1043 ff.

mosphäre von nach oben abnehmender Dichtigkeit auf ähnliche Weise umgiebt, als die statische Elektricität einen geladenen Conductor oder die Luft selbst unsern Erdball. Hiernach müſste dann, sofern die Wärme nicht selbstständig für sich existirt, sondern von ganzen Körpern durch Attraction ebenso zurückgehalten wird, als von den Molecülen materieller Substanzen, an der Grenze der Atmosphäre der absolute Nullpunct statt finden, was mit anderweitigen Untersuchungen[1] sehr gut übereinstimmt; es würde jedoch keinen Widerspruch involviren, wenn sich die Anwesenheit von Wärme im Weltraume erweisen lieſse, die wir uns dann von der unserer Erde zugehörigen als abgesondert existirend vorstellen müſsten. Hiervon wird weiter unten die Rede seyn. Die mitgetheilte Hypothese, wonach unserer Erde eine eigenthümliche, ihr zugehörende und sie umgebende Wärmeatmosphäre beigelegt wird, ist übrigens nicht neu, sondern von mehrern Schriftstellern bereits gelegentlich geäuſsert worden, Barthol. de Sanctis[2] sucht aber aus verschiedenen Erscheinungen, die mir jedoch nicht genügende Beweiskraft zu haben scheinen, darzuthun, daſs die Wärme wirklich gegen die Erde gravitire, eine Meinung, wozu sich auch Le Sage und de Luc[3], Letzterer aus allerdings gewichtigen, aber nur seine eigenthümliche, im Ganzen ungenügende, Hypothese unterstützenden Gründen, bekennt.

## C. Absoluter Nullpunct.

38) Wenn man das Wesen der Wärme auf bloſse Bewegungen oder Undulationen zurückführt, so müſste der Zustand völliger Ruhe zugleich das Aufhören aller Wärme, mithin die absolut gröſste Kälte herbeiführen, so wie der Schall und das Licht mit dem Aufhören der Wellenbewegung verschwinden. Hierin liegt das oben benutzte Argument gegen diese Hypothese, daſs sie durchaus keinen genügenden Grund davon angiebt, warum die hypothetischen Wärmewellen nie aufhören,

---

1 S. Art. *Meteorologie*; *Atmosphäre*. Bd. VI. S. 1989.

2 Biblioth. Brit. T. XLVI. Journ. de Phys. T. LXXII. p. 127. Nouveau Bullet. des Sciences. 1811. Mai.

3 Journ. de Phys. 1790. p. 232. Gren's Journ. d. Phys. Th. V. S. 460.

sofern kein Körper absolut kalt ist, ungeachtet ihre Temperaturen so leicht und durch die verschiedensten Ursachen verstärkt und geschwächt werden. Nimmt man dagegen einen Wärmestoff an, so muſs auch eine gänzliche Abwesenheit desselben mindestens in der Vorstellung, wenn auch nicht in der Wirklichkeit, existirend zugestanden werden, und so müssen wohl alle diejenigen, welche von einem absoluten Nullpuncte reden, gröſserer Consequenz gemäſs als Anhänger eines materiellen Wärmestoffes betrachtet werden. Daſs die Nullpuncte unserer Thermometer keine absoluten sind, mithin über ihnen kein eigentliches + und unter ihnen kein wirkliches — der Wärme statt finde, ersieht jedermann sofort; es fragt sich also, wie tief der absolute Nullpunct unter dem Zero unserer Thermometer liegen möge, oder wie groſs die absolute Menge der Wärme in Körpern von gegebener Temperatur nach irgend einer Scale gemessen seyn möge.

39) Als Wilke, Irvine und Andere die Erscheinungen des specifischen und latenten Wärmestoffes beachtet hatten, muſsten diese Phänomene nothwendig die Vorstellung von einem vorhandenen Quantitativen erzeugen, und da sich nach andern Erfahrungen die Entziehungen der Wärme ins Unbestimmte steigern lieſsen, man auſserdem nicht wuſste, bis wie weit die Kältegrade steigen möchten, so führte dieses alles zu der Frage, wie viele Grade unter dem Nullpuncte der üblichen Thermometerscalen der absolute Nullpunct oder die gänzliche Abwesenheit aller Wärme liegen möge. Daſs die Beantwortung dieser Frage von hohem Interesse sey, unterliegt keinem Zweifel, allein die Mittel, um zu derselben zu gelangen, sind höchst schwierig und haben sehr verschiedene Resultate gegeben. Anfänglich suchte man den absoluten Nullpunct aus der Wärme zu bestimmen, die bei den Mischungen verschiedener Substanzen entwickelt wird. Crawford[1] fand ihn auf diese Weise bei — 821° C. Gadolin[2] nimmt im voraus an, daſs derselbe bei — 777° liege, Dalton[3] aber nahm, als er das Gesetz der

---

1 On animal Heat. p. 267. Ueber die thier. Wärme. Ueb. von v. Crell. S. 361.

2 Dalton neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Ueb. von Wolff. Th. I. S. 98.

3 G. XII. 316. Aus Manchester Mem. 1802. T. V. p. 595.

Ausdehnung elastischer Flüssigkeiten aufgefunden hatte, an, daſs die Repulsivkraft jedes Theilchens einer elastischen Flüssigkeit der vorhandenen absoluten Wärmemenge proportional sey, und daſs daher die Durchmesser der repulsiven Sphären jedes Theilchens sich wie die Kubikwurzeln des Raumes verhalten müſsten, den die ganze Masse einnimmt. Da sich aber die Luft von 55° F. bis 212° F. um 0,325 ihres Volumens ausdehnt, so müſsten ihre Wärmemengen sich wie $\sqrt[3]{1000}:\sqrt[3]{1325}=10:11$ nahe genau verhalten und der absolute Nullpunct der Wärme daher bei — 1573° F. = — 874°,6 C. liegen, was allerdings mit Crawford's Annahme sehr genau übereinstimmt[1].

Später hat Dalton[2] dieses Problem ausführlich untersucht, ist aber bloſs dabei stehen geblieben, den absoluten Nullpunct aus den specifischen Wärmecapacitäten der Körper, wie sie durch Mischungen zum Vorschein kommen, abzuleiten, wobei er bemerkt, daſs einige Gelehrte das absolute Zero bei — 500° C., andere bei — 4444° C. setzen, welcher enorme Unterschied das Vertrauen in die dabei zum Grunde liegenden Principien schon im voraus gänzlich aufheben muſs. Er selbst nimmt an, daſs, wenn w und W die Gewichte des kalten und warmen Körpers bezeichnen, c und C ihre Wärmecapacitäten bei diesen Temperaturen, M die Wärmecapacität der Mischung, n die Anzahl der erzeugten Wärme- oder Kältegrade und x die Anzahl von Graden bis zum absoluten Nullpuncte,

$$(cw+CW)x=(w+W)Mx\pm(w+W)Mn$$

sey, woraus also

$$x=\frac{(w+W)Mn}{(cw+CW)-(w+W)M}$$

gefunden werde. Um eine Anwendung dieser Formel zu zeigen, wählt er Wasser und Eis, beide bei 32° F. Zur Verwandlung des Eises in Wasser wird so viele Wärme erfordert, als hinreichen würde, eine gleiche Quantität Wasser um 150° F.

1 Crawford giebt diese Gröſse verschieden an. Die hier und oben angenommene ist — 1532° F., nach Henry aber beträgt sie nur 1460° F. S. G. XII. 561. XIV. 287.

2 Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Ueb. von Wolff. Berl. 1812. 2 Th. 8. Th. I. S. 96 ff.

wärmer zu machen, und da die Wärmecapacitäten beider Körper sich wie 9 : 10 verhalten, so giebt die Formel den Werth von x oder den absoluten Nullpunct = 1500° F. = 833° C. unter dem Gefrierpuncte des Wassers. Dalton hält dieses Resultat nicht für genau, weil die Wärmecapacitäten der beiden Körper nicht mit gehöriger Schärfe bestimmt seyen. Er leitet daher den absoluten Nullpunct aus andern Mischungen her, namentlich aus der von Schwefelsäure und Wasser, Kalk und Wasser, Salpetersäure und Kalkerde; ferner aus dem Verbrennen von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas, von Phosphor, Holzkohlen, Oel, Wachs, Talg, Aether u. s. w. Um zu zeigen, wie wenig Vertrauen diese Methode einzuflöfsen im Stande sey, setze ich die durch Mischung von Schwefelsäure mit Wasser in verschiedenen Verhältnissen aus Gadolin's Versuchen erhaltenen, unter sich ausnehmend abweichenden Resultate nach Fahrenheit's Scale einzeln her, wobei W und w nach der obigen Formel die Gewichte der Säure und des Wassers bezeichnen, die specifische Wärme des Wassers aber = 1 und die der concentrirten Schwefelsäure = 0,339 angenommen worden ist.

| W | w | n | M | x |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 1 | 194° | 0,442 | 2936° F. |
| 2 | 1 | 203 | 0,500 | 1710 — |
| 1 | 1 | 161 | 0,605 | 1510 — |
| 1 | 1 | 108 | 0,749 | 2637 — |
| 1 | 1 | 51 | 0,876 | 3230 — |
| 1 | 1 | 28 | 0,925 | 1740 — |

Das Mittel aus allen diesen Resultaten ist 2300° F. oder 1277° C. Dalton's eigene Versuche geben unter einander minder abweichende Resultate. Zuvor wurde die specifische Wärmecapacität der stärksten, hierbei angewandten Schwefelsäure von 1,855 spec. Gewicht = 0,33 gefunden, und p bezeichnet dann das spec. Gewicht der Mischung; die übrigen Bezeichnungen wie oben.

| W | w | p | n | M | x |
|---|---|---|---|---|---|
| 5,77 | 1 | 1,78 | 160° | 0,420 | 6400° F. |
| 1,60 | 1 | 1,52 | 260 | 0,553 | 4150 — |
| 1,00 | 2 | 1,25 | 100 | 0,764 | 6000 — |

Alle Versuche, wobei n kleiner ist, als 100° F., hält Dalton

für ungenügend, weil der Unterschied zwischen der beobachteten Capacität der Mischung und der mittleren Capacität zu gering ist. Wird allen diesen Versuchen ein gleiches Gewicht beigelegt, so ist der mittlere Werth von x = 5517° F. oder 3065° C. Stellen wir alle durch Dalton erhaltene Gröfsen zusammen, so wurden folgende höchst abweichende Resultate erhalten:

| | |
|---|---|
| Wasser und Eis . . . . . . | 1500° F. |
| Schwefelsäure und Wasser . . | 2300 — |
| desgleichen . . . . . . . . | 5517 — |
| Kalk und Wasser . . . . . . | 4260 — |
| Kalk und Salpetersäure . . . | 15770 — |
| desgleichen . . . . . . . . | 11000 — |
| Verbrennen des Knallgases . . | 5400 — |
| Verbrennen der Holzkohle . . | 6000 — |
| Verbrennen des Oels . . . . . | 6900 — |
| Verbrennen des Phosphors . . | 5400 — |
| Verbrennen des Aethers . . . | 6000 — |

Das Mittel aus allen diesen ist 6368° F. oder 3537° C., Dalton findet aber aus den von ihm aufgenommenen Werthen im Mittel 6150° F. oder 3415° C., setzt dieses auf 6000° F. oder 3333° C. herab und glaubt dadurch der Wahrheit mindestens sehr nahe gekommen zu seyn.

40) Gegen Dalton's erste Bestimmung des absoluten Nullpunctes aus der Ausdehnung der Luft wurden Einwendungen gemacht[1], weil die Luft sich durch höhere Wärmegrade weniger, als durch niedrigere ausdehne, wie Dalton selbst gefunden haben wollte, allein Letzterer widerlegt diese durch das Argument, dafs die Grade des Quecksilberthermometers die wirklichen Wärmezunahmen nicht genau mäfsen, ein oft ventilirter Satz, dessen weitere Erörterung jedoch nicht hierher gehört. Die später aus den Mischungen erhaltenen Resultate verwirft Benzenberg[2] deswegen, weil gute und schlechte Beobachtungen zusammengenommen seyen, und überhaupt bei Versuchen dieser Art chemische Wirkungen der verschiedenen zusammengesetzten Körper auf einander in Conflict kämen, deren

1 Nicholson's Journ. T. IV. p. 221.
2 G. LXI. 369.

Einfluſs sich nicht wohl sondern lasse. Allerdings ist die groſse Ungleichheit der einzelnen Bestimmungen höchst auffallend, und Benzenberg glaubt sogar, daſs Dalton die aus Wasser und Eis gefundene Gröſse vernachlässigt, eine Bestimmung aus Wasser und Dampf aber gar nicht gesucht habe, weil er im voraus für die Gröſse — 6000° F. eingenommen gewesen sey. Benzenberg giebt dagegen der Methode, den absoluten Nullpunct aus den Wärmecapacitäten zu berechnen, einen entschiedenen Vorzug. Ist demnach die Capacität des Eises c = 90, die Capacität des Wassers C = 100, die Menge der Wärme, welche durch den Uebergang des Eises zu Wasser verschluckt wird, n = 66°,6 R. und x der Abstand vom absoluten Nullpuncte in Graden derselben Scale, so ist Cx — cx = Cn,

$$\text{also } x = \frac{Cn}{C - c} = 666^\circ \text{ R.} = 832^\circ{,}5 \text{ C.}$$

und werden hiervon die 66° R., die beim Gefrieren frei werden, abgezogen, so folgt das absolute Zero = 600° R. = 750° C. Wenn auf gleiche Weise die Capacität des Wassers c = 100, die des Dampfes = 155 und die Menge der latent werdenden Wärme n = 420° R. gesetzt wird, so hat man

$$x = \frac{Cn}{C - c} = \frac{155 \times 420}{155 - 100} = 1184^\circ \text{ R.}$$

Hiervon 420°, die beim Dampfe latent werden, und 66°, die beim Wasser latent werden, endlich die 80° vom Siedepuncte des Wassers bis zum Gefrierpuncte desselben abgezogen, giebt den absoluten Nullpunct bei — 618° R. oder — 772°,5 C. Eis und Wasserdampf giebt auf gleiche Weise

$$x = \frac{Cn}{C - c} = \frac{155 \times 486{,}6}{155 - 90} = 1160^\circ \text{ R.},$$

wovon 420° und 66° und 80° abgezogen 594° R. = 742°,5 C. geben. Aus dem Verhalten des Wassers in diesen drei Fällen geht also in nicht sehr von einander abweichenden Resultaten die mittlere Bestimmung des absoluten Nullpunctes = 604° R. oder 755° C. hervor. Um die Zulässigkeit dieser Methode weiter zu prüfen, müſsten auch mit andern Körpern Versuche angestellt werden, und Benzenberg erwartete hiervon allerdings Uebereinstimmung, wenn nur die zur Berechnung erforderlichen Gröſsen mit hinlänglicher Sicherheit ausgemittelt wären; allein dieses ist bis jetzt noch nicht thatsächlich erwiesen. Uebrigens ist das Princip, worauf diese Bestimmung

beruht, sehr einfach, und gegen die Zulässigkeit desselben läſst sich wohl nicht füglich etwas einwenden, vorausgesetzt, daſs entweder überhaupt, oder mindestens bei diesen Versuchen keine anderen Wirkungen der Wärme auf das Thermometer zum Vorschein kommen, als welche auf quantitativer Vermehrung oder Verminderung beruhen. Sollte sich dagegen erweisen lassen, wie mir nicht zu bezweifeln scheint, daſs es auch andere, auf bloſsen Undulationen beruhende, Wirkungen der Wärme giebt, so würde hierdurch die Zulässigkeit des aufgestellten Princips mindestens zweifelhaft werden, und auf jeden Fall wären alle solche Versuche für diese Bestimmung unzulässig, in denen stark einwirkende chemische Thätigkeiten solche Undulationen hervorrufen könnten.

41) Von den Untersuchungen, an welche Flaugergues[1] die Bestimmung des absoluten Nullpunctes knüpft, setze ich bloſs das Endresultat her. Hiernach ist das Verhältniſs der absoluten Wärme des siedenden Wassers zu der des schmelzenden Eises = 137168 : 100000, welches die Proportion giebt:

$$37168 : 100000 = 80^\circ : 215^\circ,241,$$

und da sich das Quecksilber um $\frac{1}{5000}$ für jeden Grad R. ausdehnt, so liegt der absolute Nullpunct 209° R. oder 261°,25 C. unter dem Puncte des schmelzenden Eises. Desormes und Clément[2] haben bei ihren gehaltreichen Untersuchungen über die specifischen Wärmecapacitäten der Gase gleichfalls den absoluten Nullpunct zu bestimmen gesucht. Nach ihrer Ansicht sind die Veränderungen der Temperatur im reinen Raume den Veränderungen der absoluten Wärmemengen proportional. Ist daher die absolute Wärmemenge des Raumes für zwei Temperaturen, z. B. 18° und 98° C., gegeben, deren Unterschied 80° beträgt, und ist aus den Resultaten ihrer Versuche bekannt, daſs Luft von 18° in den leeren Raum von 18° dringend bis 102°, Luft von 98° aber, den leeren Raum von gleichfalls 98° erfüllend, nach gehöriger Reduction der Capacität bis 132°,24 erwärmt wurde, so folgt hieraus, daſs der Unterschied der im Raume befindlichen Temperaturen von 98 — 18 = 80° in der Luft bei gleicher Capacität eine Wärme von 132,24 — 102 = 30°,24 C.

1 Journ. de Phys. T. LXXVII. p. 290.
2 Ebend. T. LXXIX. p. 321. 343.

erzeugt. Nennen wir also x die absolute vorhandene Wärmemenge bei 18°, so erhalten wir die Proportion:

$$x^{\circ} : 80^{\circ} = 102^{\circ} : 30^{\circ},24,$$

woraus x = 269°,8 folgt. Man gelangt durch folgende Betrachtung zu einem gleichen Resultate. Die Temperaturen verhalten sich umgekehrt, wie die Wärmecapacitäten. Hiernach verhält sich die des Raumes zu der der Luft, wie das Maximum der erhaltenen Wärmevermehrung zu der absoluten Temperatur. Die bei 12°,5 angestellten Versuche gaben die für diesen Ausdruck erforderlichen Werthe, nämlich

$$400 : 100 = 112^{\circ} : x,$$

woraus x = 280° gefunden wird und also die vorhandene absolute Wärme für den Punct des schmelzenden Eises 280° — 12°,5 = 267°,5 C. betragen mufste. Die später zu erwähnende, aus der Ausdehnung der trocknen Luft gefundene Gröfse ist bekanntlich[1] — 266°,66, und es mufs dabei auffallen, dafs beide aus dem Verhalten der Luft erhaltene Bestimmungen ebenso genau mit einander übereinstimmen, als die drei aus dem Verhalten des Wassers und Dampfes durch Benzenberg entnommenen.

42) Suckow[2] bleibt ganz einfach bei dem eben erwähnten, durch Dalton gleichfalls in Anwendung gebrachten Satze stehen, dafs der absolute Nullpunct aus den specifischen Wärmecapacitäten abgeleitet werden könne. Diesem gemäfs setzt er die des Eises = 0,9, wenn die des Wassers = 1 ist, und da das Eis bei seinem Uebergange zum Wasser 140° F. Wärme verschluckt, so müsse die Wärmemenge im Wasser bei 32° F. 10 × 140° = 1400° F. oder 777° C. betragen; man hat jedoch das Princip, worauf diese Bestimmung gegründet ist, nicht für zulässig erkannt, und auf jeden Fall ermangeln die hierbei zum Grunde liegenden Gröfsen der erforderlichen Genauigkeit.

43) Zur Bestimmung des absoluten Nullpunctes habe ich selbst das Verhalten des Wasserdampfes benutzt. Bekanntlich

---

1 Den unbedeutenden Unterschied, welcher aus Rudberg's neu aufgefundenem Coefficienten der Ausdehnung trockner Luft hervorgeht, glaube ich hier nicht beachten zu müssen. Vergl. *Wirkungen der Wärme.*

2 Anfangsgründe der Physik und Chemie. Bd. I. §. 620.

ist die Summe der latenten und sensibeln Wärme in demselben = 640° C., und wenn er daher die Temperatur des gefrierenden Wassers hat, mithin das Thermometer keine positiven Grade sensibler Wärme anzeigt, so beträgt seine latente Wärme 640°, worauf man den Schlufs bauen könnte, dafs der absolute Nullpunct der Wärme nicht höher, als diese Gröfse liegen könnte[1]. Bei der Aufstellung dieses Satzes ist sogleich von mir bemerkt worden, dafs derselbe nicht über alle Einwendungen erhaben sey, und wirklich ist er auch durch Brandes[2] im Allgemeinen als zweifelhaft angefochten worden; merkwürdig ist aber, dafs diese Bestimmung mit den durch Dalton und Benzenberg aus dem Verhalten des Wassers gefundenen sehr nahe übereinstimmt. Die Aufgabe führt genau erwogen zu folgenden Betrachtungen. Könnte zuvörderst auf diesem Wege der absolute Nullpunct der Wärme ausgemittelt werden, so müfste die latente Wärme in den Dämpfen aller verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten gleich seyn, sofern jene Bestimmung voraussetzt, dafs dadurch die ganze Menge vorhandener Wärme weggenommen werde und also überhaupt keine mehr vorhanden sey. Da aber die Summe der latenten Wärme in den verschiedenen Dämpfen, jeder bei 0° C. Temperatur genommen, ungleich ist[3], so liegt hierin ein bedeutendes Argument gegen die Zulässigkeit des ganzen Satzes. Derselbe läfst sich aber noch aufserdem auf folgende Weise anfechten. Die latente Wärme von 640° C. des Wasserdampfes bei der Temperatur des schmelzenden Eises ist nach der gangbaren Theorie die Summe der Wärmemolecüle, welche die Molecüle des Wassers umgeben und sie im Zustande der Expansion erhalten. Denkt man diese als weggenommen, so würden die Molecüle des Wassers einander so nahe kommen, dafs sie eine tropfbare Flüssigkeit bildeten, die aber noch 75° C. Wärme abgeben müfste, um in Eis verwandelt zu werden, welches dann aber noch eine bedeutende Wärmemenge bis zum absoluten Nullpuncte enthalten mufs. Die Bestimmung des absoluten Nullpunctes würde also hiernach blofs auf dem Aggregatzustande des Wasserdampfes beruhn, was offenbar unzulässig ist.

---

1 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 297.

2 Recension meines Handbuches. In Leipz. Lit. Z. 1829.

3 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 291.

44) Diese Betrachtungen geben einen sehr guten Anhaltpunct zur Beurtheilung der sonst versuchten Lösungen dieses Problems. Joh. Tob. Mayer[1] nimmt an, der absolute Nullpunct liege 266°,25 C. unter dem Puncte des schmelzenden Eises, eine Gröſse, die aus den Gesetzen der Ausdehnung expansibeler Flüssigkeiten durch Wärme entnommen ist und daher mit den sonstigen, ebendaraus abgeleiteten Bestimmungen genau übereinstimmt. Desormes und Clément[2], indem sie von dem durch Gay-Lussac gefundenen Gesetzen ausgingen, daſs die expansibelen Flüssigkeiten sich um 0,00375 ihres Volumens durch jeden Centesimalgrad Wärme ausdehnen, und dieses Gesetz durch eigene Versuche bei den Luftarten sowohl, als auch bei Wasserdampf bestätigt fanden, glaubten, daſs dieses Verhalten durch die Wesenheit der Gase bedingt seyn müsse und daſs also, da dieselben sich für 1° C. um $\frac{1}{266,66}$ ihres Volumens ausdehnen und von 0° C. ausgehend sich um ebenso viel zusammenziehen, die Grenze dieser Zusammenziehung bei $\frac{266,66}{266,66}$ liegen müsse, folglich tiefer herab keine weitere Zusammenziehung und keine weitere Erkaltung möglich sey. Hiernach fällt also der absolute Nullpunct bei — 266°,66 C. Sie argumentiren ferner auf folgende Weise. Nimmt man ein Volumen Gas bei 0° C. als Einheit und dehnt sich dieses durch 1° C. um $\frac{1}{266,66}$ seines Volumens aus, so wird es bei 266°,66 das doppelte Volumen einnehmen. Hiernach ist also die Menge der Wärme, welche das Volumen des Gases um die Einheit vermehrt, genau so groſs, als diejenige, welche die ursprünglich vorhandene Einheit giebt, und da für die Wärme im Volumen = 2 die von 0° C. hinzugekommene 266°,66 beträgt, so muſs in der ursprünglichen Einheit des Volumens gleichfalls eine Menge Wärme = 266°,66 enthalten seyn. Hiernach beträgt also die in der Luft bei 0° Temperatur enthaltene Wärme 266°,66 und der absolute Nullpunct liegt also bei — 266°,66 der Centesimalscale. Es ist allerdings auffallend, daſs diese Gröſse mit der oben nach einer andern Methode gefundenen

1 Comment. de vi elast. vaporum cet. p. 29.
2 Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 324.

= — 267°,5 C. so genau übereinstimmt; allein beide sind auf das Verhalten der Luft gegründet. Nachdem aber Laplace[1] sich gleichfalls dafür erklärt hatte, daſs auf diese Weise der absolute Nullpunct gefunden werde, wurde dieser Satz als unbestreitbares Axiom angenommen, und die Physiker gebrauchten daher allgemein die Bestimmung von — 266°,67 zur Bezeichnung eines Zustandes gänzlicher Abwesenheit aller Wärme. Setzt man mit Rudberg die Ausdehnung der trocknen Luft für 1° C. im Mittel = 0,00363, so giebt $\frac{1}{0,00363} = 275$ den absoluten Nullpunct der Wärme bei — 275° C., welcher Unterschied nicht sehr bedeutend ist.

45) Wie allgemein man auch diese Bestimmung als genügend angenommen hat, so führt doch die oben angestellte Betrachtung sehr einfach auf diejenigen Argumente, welche die Nichtigkeit derselben darthun. Die aufgefundene Gröſse von 266°,67 (um bei dieser bisher üblichen stehen zu bleiben) ist nichts weiter, als das Maſs derjenigen Wärme, welche dem gegebenen Volumen der Luft bei gleichbleibendem äuſseren Drucke zugehört und, man möge sagen, dieses bedingt. Wird die Wärme eines gegebenen Luftvolumens, von irgend einem Puncte jeder Thermometerscale ausgehend, um 266°,66 C. vermehrt, so wird dasselbe bis zum zweifachen ausgedehnt, und hätte man daher, da die Thermometergrade unter 0° der Centesimalscale keine absolut negativen sind, ein Luftvolumen bei — 266°,66 C., so würde dasselbe durch Hinzukommen von 266°,66 C. zum doppelten wachsen, dieses neue Volumen bei 0° C. aber wieder als Einheit genommen würde durch das Hinzukommen von 266°,66 abermals bis zum doppelten vermehrt werden. Hiernach müſste also ein Luftvolumen bei 0° C. durch Entziehung von 266°,66 C. auf die Hälfte herabsinken, ohne daſs hieraus ein Uebergang in einen andern Aggregatzustand, als den expansibelen, folgte. Nach der Analogie vieler Naturerscheinungen muſs aber jede expansibele Flüssigkeit durch Entziehung einer hinlänglichen Wärmemenge zuerst tropfbar-flüssig werden und dann, oder auch unmittelbar, in den Zustand der Festigkeit übergehn, ohne in einem von diesen Zuständen ganz frei von Wärme zu seyn. Nicht bloſs der Erfahrung gemäſs, son-

---

1 Mécan. Cel. T. V. p. 92 u. a. a. O.

dern auch nach jeder Theorie der Wärme, namentlich aber nach der, wozu sich LAPLACE bekennt, muſs jeder Körper durch Entziehung aller Wärme nicht bloſs in den Zustand der Festigkeit übergehn, sondern auch seine absolut gröſste Dichtigkeit erhalten. Die Täuschung bei dem Principe, nach welchem der absolute Nullpunct gefunden ist, liegt also darin, daſs dabei bloſs diejenige Wärme aufgesucht wird, welche das Volumen der Gasarten unter gleichbleibendem Drucke bedingt, ohne dabei die nothwendig eintretende Veränderung des Aggregatzustandes zu berücksichtigen.

46) Hieraus folgt nach meiner Ueberzeugung unwidersprechlich, daſs auch die, namentlich von den französischen Physikern und wohl allgemein mit so groſsem Beifall aufgenommene, Bestimmung des absoluten Nullpunctes ungenügend ist, und somit bleibt also auch dieses wichtige Problem einer künftigen Lösung vorbehalten. Unter den verschiedenen Methoden, welche zur Beantwortung der vorliegenden Frage angewandt worden sind, scheint mir die von BENZENBERG, nach dem Vorgange der früheren Physiker, gewählte den Vorzug zu verdienen, weil sie einen hierzu vorzugsweise geeigneten Körper, das Wasser, in seinen drei verschiedenen Aggregatformen zum Grunde legt, und ich glaube, daſs hiernach der absolute Nullpunct weit richtiger bei — 600° R. oder — 750° C. unter dem Gefrierpuncte des Wassers im genäherten Werthe gesetzt wird[1], als nach der fast allgemein üblichen Bestimmung bei — 266°,67 C.

## D. Ursprung der Wärme.

47) Alle Körper haben, ohne den Einfluſs specieller Ursachen, die Temperatur ihrer Umgebung, d. h. die Aeuſserung

1 Dürfte man diese Bestimmung als genau betrachten, so betrüge die *Höhe der Atmosphäre* nach Bd. VI. S. 1995 = (750 + 25) × 600 Fuſs = 20 geogr. Meilen, und etwas geringer, wenn man eine mit der Höhe wachsende Abnahme der Wärme in Folge einer gewissen Gravitation derselben gegen die Erde annehmen wollte, eine mit anderweitigen Thatsachen wohl vereinbare Bestimmung. Die Dichtigkeit der Luft würde nach dem Mariotte'schen Gesetze dort etwa 2 Hundertmilliontel betragen, was man als eine verschwindende Gröſse betrachten kann. Vergl. Bd. I. S. 451.

ihrer Wärme, die man auch *sensibele Wärme* nennen könnte, sofern sie auf verschiedene Weise sinnlich wahrgenommen wird, ist der ihrer Umgebungen vollkommen gleich, wie dieses nothwendig der Fall seyn mufs, wenn man einen elastisch-flüssigen Wärmestoff annimmt, welcher sich daher nach allen Seiten hin ins Gleichgewicht setzt. Ueber die absolute, in ihnen dann vorhandene Wärme können wir hiernach nicht urtheilen, theils weil uns der absolute Nullpunct der Wärme nicht bekannt ist, theils weil auch, wenn dieser bekannt wäre, die specifische Wärmecapacität der verschiedenen Körper einen Unterschied herbeiführen würde. Häufig aber nimmt diese Aeufserung ihrer Wärme zu oder ab; wir nennen die Körper hiernach wärmer oder kälter und nehmen an, dafs sie mehr oder weniger Wärme besitzen, als ihre Umgebungen. Beide Zustände können nur dadurch hervorgerufen werden, dafs sich entweder die Wärme in den Körpern selbst entwickelt, oder dafs sie ihnen von aufsen zugeführt wird, wobei für die Erkaltung das Entgegengesetzte statt findet. Lassen wir vorläufig die Zuführung und Ableitung der Wärme, das Abgeben oder Entziehen derselben durch andere Körper unberücksichtigt (wobei zugleich die Gesetze des Ueberganges der Wärme von einem Körper zum andern in Betrachtung kommen, welches gesammte Verhalten in einem eigenen Abschnitte über *Wärmeleitung* untersucht werden soll), so lassen sich die verschiedenen Arten der Wärmeerregung unter folgende Hauptclassen bringen: 1) durch die Sonnenstrahlen; 2) durch Zusammendrückung und Reibung; 3) durch Verbindung heterogener Stoffe, kurz ausgedrückt durch Chemismus; 4) durch vegetabilischen und animalischen Lebensprocefs; 5) durch Elektricität. Wir wollen diese verschiedenen Arten einzeln untersuchen.

### 1) Wärmeerregung durch die Sonne.

48) Die Strahlen der Sonne, oder überhaupt das Sonnenlicht, erzeugen Wärme, mögen sie direct oder nur nach Reflexion auf die Körper fallen, und zwar eine ihrer Intensität stets proportionale, mithin eine fast unmerkliche, wenn sie durch die obwaltenden Bedingungen sehr geschwächt sind. Um daher zu prüfen, ob die Intensität des Lichtes noch stark genug zur Erzeugung sehr geringer Grade von Wärme sey, dient haupt-

sächlich Leslie's *Differentialthermometer* von der oben beschriebenen Construction[1], wodurch man sich überzeugen kann, dafs selbst das blofse Tagslicht in nördlich gelegenen Zimmern, also ohne directen Einflufs der von der Sonne unmittelbar auffallenden Strahlen, noch eine geringe Vermehrung der Temperatur bewirkt.

Dafs die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen nach der Durchsichtigkeit des Mediums, durch welches sie dringen, und der Beschaffenheit der Körper, auf welche sie fallen, verschieden sey, ist allgemein bekannt. Wenn wir von allen diesen Bedingungen abstrahiren, so ergiebt die Erfahrung, dafs die Menge der erzeugten Wärme der Menge der in gleichen Zeiten auffallenden Lichtstrahlen oder der Gröfse der sie auffangenden Fläche proportional sey[2]. Die Intensität der erzeugten Wärme kann daher ausnehmend vermehrt werden, wenn man die Summe der auf eine gegebene Fläche fallenden Sonnenstrahlen auf eine ungleich kleinere concentrirt, worauf die Wirkung der Brennlinsen und Brennspiegel gegründet ist[3]. Diese Verkleinerung beruht auf der Brennweite der Spiegel oder Linsen und beträgt den 215. Theil derselben[4], oder = 0,00465 f, wenn f die Brennweite bezeichnet. Heifst demnach die Intensität der durch frei auffallende Sonnenstrahlen erzeugten Wärme i, der im Brennraume I, die Chorde der Linse oder des Spiegels D, so ist

---

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 994.

2 Nach Fourier in Ann. de Chim. et Phys. besitzen alle Planeten Wärme, die sie aus dem Weltraume oder durch die Sonnenstrahlen erhalten. Sie ist der Entfernung von der Sonne umgekehrt proportional und manchen andern Bedingungen unterworfen. An den Polen ist daher bei allen Planeten die Wärme gleich und beim Uranus ist die ganze Oberfläche nicht wärmer. Die Richtigkeit dieser Behauptung möge auf sich beruhn.

3 Richmann stellte unlängst eine Reihe von Versuchen an, um das Verhältnifs der Hitze im Lichtkegel hinter Brennlinsen in verschiedenen Entfernungen von der Glasfläche aufzufinden, allein es gelang ihm wegen der grofsen obwaltenden Schwierigkeiten nicht, weder hierüber noch über das Verhältnifs der blofsen und der durch Linsen concentrirten Sonnenstrahlen hinsichtlich ihrer erwärmenden Kraft zu einem sicheren Resultate zu gelangen. S. Nov. Comm. Soc. Petrop. T. III. p. 340. T. IV. p. 277.

4 Vergl. *Brennraum*. Bd. I. S. 1216.

$$I = i \frac{D^2}{(0{,}0093)^2 f^2} - k,$$

wenn k denjenigen Verlust bezeichnet, welcher aus den Bedingungen dieser Concentrirung nothwendig hervorgeht. Die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen ist nach den verschiedenen Bedingungen sehr ungleich (§. 50), inzwischen wird man sich von der Wahrheit nicht sehr entfernen, wenn man sie zu 10° C. annimmt[1]. Hat man demnach eine 9zollige Linse, deren Brennweite 18 Z. beträgt, so würde sich schon damit eine Hitze von $10 \cdot \frac{81}{0{,}00008649 \times 324} = 28900°$ C. — k herausstellen. Man wird sich von der Wahrheit nicht merklich entfernen, wenn man den Durchmesser des Brennraumes = 0,01 f setzt, wodurch die Rechnung sehr erleichtert wird; allein die Gröfse k ist sehr schwer nur in genähertem Werthe bestimmbar, denn es kommt dabei nicht blofs die Menge des Lichts in Betrachtung, die durch die Fläche des Spiegels oder die Substanz der Linse verloren wird und die man füglich mindestens auf $\frac{1}{8}$ anschlagen kann[2], sondern auch diejenige, die aus der Beschaffenheit des erzeugten Brennraumes nothwendig hervorgeht[3]. Wie mächtig wirkend daher auch manche berühmte Brennspiegel und Brenngläser seyn mögen[4], so bleiben doch ihre Wirkungen weit hinter den theoretisch gefundenen zurück. Um die zu grofse Dicke der Linsen zu vermeiden und dennoch die Brennweite kleiner zu machen, pflegt man hinter der gröfseren Linse noch eine Collectivlinse, beider Axen in einer geraden Linie liegend, anzubringen. Eine solche verfertigte neuerdings Penn zu Islington für einen gewissen Parker, die grofse von 3 engl. Fufs, die kleinere von 16 Z. Durchmesser, im Rahmen von 2 F. 8,5 Z. und 13 Zoll, deren Wirkung zwar überraschend war, doch aber der des Knallgasgebläses nachstand. Sie soll sich jetzt in China befinden[5].

49) Die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen ist unter

---

1 Vergl. Hoffmann's Versuche in Lambert's Pyrometrie. S. 159.

2 So grofs war der Verlust, welchen die besten Linsen in den Versuchen von Pouillet erzeugten. S. dessen Mémoire sur la chaleur solaire. Par. 1838. 4. p. 4.

3 S. Art. *Brennraum* a. a. O.

4 S. Art. *Brennglas* und *Brennspiegel*. Bd. I. S. 1205. 1217.

5 Laboratorium. Ht. XXVII. Taf. 107.

günstigen Umständen, selbst wenn sie nicht durch Brennlinsen oder Brennspiegel concentrirt sind, ausnehmend grofs. Um sie zu messen, hat der jüngere Herschel[1] einen eigenen Apparat, das *Aktinometer* (von ἀκτὶν der Strahl und μετρέω ich messe), erfunden. Dieses noch nicht allgemein in Gebrauch gekommene Instrument ist ein Thermometer mit sehr grofsem cylindrischen Behälter und einer in willkürliche Theile getheilten Scale, an welcher auch die kleinsten Veränderungen wahrnehmbar werden, weswegen das Gefäfs mit einer Schraube versehen ist, damit durch deren Herunterlassen die Flüssigkeit in der Röhre wieder herabsinkt, um nicht überzufliefsen. Das Gefäfs von farblosem Glase ist mit einer intensiv blauen Flüssigkeit gefüllt, damit die eindringenden Sonnenstrahlen diese
Fig. 37. von innen erwärmen[2]. Die an die weitere Röhre angeschmelzte engere ist eine etwas weite Thermometerröhre, an deren oberem Ende sich eine in eine feine Spitze ausgezogene Kugel befindet, in welche die Luft dringen kann. Am untern Ende des weiten Cylinders ist eine Messinghülse angekittet, durch welche eine gut schliefsende Schraube mit einem kleinen Embolus geht, welcher dazu dient, die Flüssigkeit mehr in die Höhe zu heben. Die im Cylinder befindliche Flüssigkeit scheint nach Kämtz eine dunkelblaue Solution irgend eines Kupfersalzes zu seyn[3]. Wird die Spitze der obern Kugel, worin sich Luft befindet, mit etwas Wachs verschlossen, so hat man ein sehr empfindliches Thermometer, welches man mit einer Scale versieht und in einem inwendig geschwärzten, durch eine Spiegelglasplatte gegen den Luftzug gesicherten Kasten befestigt. Vermittelst der Schraube und des Embolus kann man bei jeder äufsern Temperatur den Stand der Flüssigkeit so reguliren, dafs sie weder in den Cylinder herabsinkt, noch in die Kugel hinaufsteigt, wobei zugleich dafür gesorgt werden mufs, dafs sich keine Luftblasen in der Flüssigkeit eingeschlossen befinden, wovon man sich am besten durch einige Neigung des Instruments

---

1 L'Institut. 1834. N. 74. Poggendorff's Ann. XXXII. 661. Kämtz Meteorologie Th. III. S. 15. Ein hiervon verschiedenes, durch Pouillet angegebenes Aktinometer wird später beschrieben werden.

2 Diese Apparate werden von Robinson in London, Devonshire-Street, Portland-Place verfertigt.

3 In der Regel schwefelsaures Kupferammoniak. S. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XCV. p. 207.

überzeugen kann. Sind deren vorhanden, so entfernt man sie dadurch, daſs man die Flüssigkeit so lange in die Höhe schraubt, bis ein Theil derselben und damit zugleich die Luftbläschen in die obere Kugel treten, worauf man den früheren Stand, wobei der Faden in der Thermometerröhre ungefähr bis in die Mitte reicht, wieder herstellt. Die Sonnenstrahlen müssen lothrecht auf die Glasplatte fallen, damit der aliquote, durch diese Platte verursachte Verlust sich stets gleich bleibt, eine Bedingung, die durch untergelegte Klötzchen leicht erreicht wird, wenn man beachtet, daſs keine der unter sich parallelen Seiten des Kastens einen Schatten wirft[1]. Um mit dem Aktinometer zu beobachten, muſs man dasselbe zuvor eine Minute im Schatten am Beobachtungsorte hinlegen, damit es die Temperatur der Umgebung annehme, dann ebenso lange den Sonnenstrahlen aussetzen und sofort ebenso lange im Schatten liegen lassen. Nimmt man das Mittel aus dem ersten und zweiten Stande desselben im Schatten und zieht dieses vom Stande desselben in der Sonne ab, so hat man das Maſs für die Einwirkung der Sonnenstrahlen in einer Minute. Nach vielen Versuchen hat sich das Instrument als zuverlässig und sehr empfindlich bewährt.

Um die Grade des Aktinometers auf eine normale Gröſse zurückzuführen, hat Herschel[2] den Ausdruck *Aktine* vorgeschlagen, dessen allgemeine Aufnahme er wünscht. Multiplicirt man die Scalentheile mit 6,1, so ist das Product die Strahlung in Aktinen, d. h. derjenigen Strahlung, welche bei senkrechtem Auffallen der Sonnenstrahlen hinreichen würde, um in einer Minute mittlerer Zeit eine Eisschicht von einem Milliontel Meter Dicke zu schmelzen, wenn diese ihr in horizontaler Lage ausgesetzt wäre. Als Beispiel zur Erläuterung führt er folgendes an. Am 21. März wurden am Instrumente 36,4 Scalentheile abgelesen, welches $36{,}4 \times 6{,}1 = 422{,}04$ Aktinen giebt. Eine dieser gleiche fortdauernde Wirkung würde in 1 Minute 0,00022204 Meter = 0,008742 Zoll Eis schmelzen, oder in einem mittleren Sonnentage 1,049 Fuſs, also in einem Sideraljahre 338,16 Fuſs. Die Oberfläche der ganzen Erde beträgt viermal den Durch-

1 Eine sehr weitläuftige Anweisung zum Gebrauche dieses Instrumentes ist den Offizieren bei der antarktischen Expedition ertheilt worden. S. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XCV. p. 207—214.

2 Poggendorff's Ann. XLI. 559.

schnitt des auf sie fallenden Sonnenstrahlencylinders, und da die wirklich von der Erde empfangene Wärme gröfser ist, als das je an ihrer Oberfläche beobachtete Maximum, so folgt, dafs die jährlich auf unsere Erde fallende Sonnenwärme wenigstens eine über ihre Oberfläche verbreitete Eisschicht von 84,54 F. zu schmelzen vermögen würde, wodurch zugleich ein Mafs der Gesammtwirkung der Sonnenstrahlen gegeben ist.

50) Dafs die im Kasten erzeugte Wärme hierbei von Einflufs sey, unterliegt keinem Zweifel; inzwischen ist dieser Einflufs ein constanter, welcher bei einem blofs unter sich vergleichbare Resultate gebenden Apparate nicht nachtheilig seyn kann, vielmehr nur die Empfindlichkeit desselben erhöht. Schon viel früher hat de Saussure[1] ein ähnliches, jedoch minder geeignetes, Instrument gebraucht, um die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen zu messen, und ihm den Namen *Heliothermometer* gegeben. Dasselbe bestand aus einem Kästchen von tannenen 0,5 Z. dicken Bretchen, im Innern 1 F. lang, 9 Z. breit und ebenso hoch. Der ganze innere Raum war mit geschwärzten, 1 Z. dicken Korkscheiben ausgefüttert und wurde dann durch drei in Falzen verschiebbare, sehr durchsichtige Glasscheiben verschlossen, welche in einem Abstande von 1,5 Z. von einander eingeschoben wurden. Im Innern befand sich ein Thermometer, welches den gerade auffallenden Sonnenstrahlen ausgesetzt war. Bei einem auf dem Gipfel des Cramont angestellten Versuche stieg nach mehreren Stunden das innere Thermometer bis 87°,5, ein zweites, aufsen am Kästchen befestigtes, bis 26°,2, ein drittes aber, 4 Fufs über dem Boden den Sonnenstrahlen ausgesetztes, nur bis 6°,2. Der Unterschied beider Apparate besteht hauptsächlich darin, dafs im letzteren die Wärme sich in der längeren, mehrere Stunden betragenden Zeit anhäufen soll, bis sie ihr Maximum erreicht hat, wobei aber die gleichzeitig statt findende Abkühlung von aufsen sich nicht allezeit gleich ist, nicht zu rechnen, dafs während der langen Dauer des Versuches leicht anderweitig modificirende Bedingungen eintreten können. Am wenigsten durch unbestimmbare äufsere Einflüsse bedingt sind die von Pouillet[2] mit seinem *Aktinometer* (§. 95) angestellten Ver-

1 Reisen durch die Alpen. Th. IV. S. 109. §. 932.
2 Mémoire sur la Chaleur solaire. Par. 1838. 4. p. 48.

suche, woraus hervorgeht, dafs nach den verschiedenen Verhältnissen die durch die Sonnenstrahlen erzeugte Wärme die der Umgebung um 3° bis 64° übertreffen kann. Dagegen sah Robison[1] bei einem ähnlichen Apparate, als dem von de Saussure angegebenen, das Thermometer in den Sonnenstrahlen zuweilen bis 110°, ja sogar bis 114° C. und dem Scheine eines sehr hellen Feuers ausgesetzt bis 100° C. steigen. Uebrigens sind die häufig vorkommenden Angaben über den Unterschied der Thermometerstände in den Sonnenstrahlen und im Schatten ohne eigentlichen wissenschaftlichen Werth, da sie zu keinem bestimmten Gesetze führen, weil stets neue einflufsreiche Bedingungen einwirken. Dahin gehört, dafs die metallische Oberfläche des Quecksilbers die Lichtstrahlen weit mehr zurückwirft, als die des Weingeistes; bei beiden Arten von Thermometern kommt aber die Durchsichtigkeit des Glases der Kugel sehr in Betracht und endlich der Wind, welcher die Wärme ableitet. Unter die genauern Versuche dieser Art gehören die von Flaugergues[2] in grofser Menge angestellten, bei denen auch die letztere Bedingung berücksichtigt ist. Als Hauptresultat ergiebt sich aus ihnen, dafs die Jahreszeiten keinen sehr merklichen Einflufs auf den Unterschied der Thermometerstände in der Sonne und im Schatten äufsern, wohl aber die Winde, gleichviel in welcher Richtung zu den auffallenden Sonnenstrahlen sie wehen. Bei vollkommener Windstille war der Unterschied im Winter 10°,89, im Sommer 10°,94 C.

51) Einen sehr schätzbaren Beitrag zur Bestimmung der erwärmenden Kraft der Sonnenstrahlen verdanken wir den Bemühungen Rumford's[3]. Dieser liefs sich von dem bekannten Optiker Lerebours zwei ganz gleiche biconvexe Linsen von 4 Z. Oeffnung und 11 Z. 6 Lin. Brennweite verfertigen, fafste sie in einen nach allen Richtungen durch Charniere beweglichen Rahmen und umgab beide mit einem genau 3,5 Z. weiten Ringe von polirtem Messing, um durch sie zwei Lichtkegel von ganz gleicher Basis zu erhalten. Hinter den Schirm stellte er auf beweglichen Stativen zwei flache, gleichfalls völlig

1 Black Lectures. T. I. p. 547.
2 Journ. de Phys. T. LXXXVII. p. 256.
3 G. XX. 177. Journ. de Phys. T. LXI. p. 32. Aus Mém. de l'Inst. T. VI. p. 123.

gleiche Behälter von Messingblech, deren Seiten 3 Z. 10,5 Lin. Durchmesser hatten, während die Dicke des eingeschlossenen, mit Wasser gefüllten Raumes 0,5 Z. betrug. Sie waren auswärts blank polirt, die eine Fläche aber mit Lampenrufs überzogen; die Quantität des Metalles und des eingegossenen Wassers war bei beiden gleich; auch enthielten beide möglichst gleiche, in das Wasser eingesenkte Thermometer. Beide Gefäfse stellte er in ungleicher Entfernung so hinter die Linsen, dafs durch gehörige Bewegung des Apparats die Axen der Lichtkegel anhaltend auf die Mitte der geschwärzten Flächen fielen, und mafs die Zeiten, in welchen ihre Temperaturen bis zu gleichen Graden stiegen. Hierbei zeigte sich, dafs beide Gefäfse in gleichen Zeiten gleiche Zunahmen der Wärme erhielten, die Durchschnittsflächen der auffallenden Lichtkegel mochten gröfser oder kleiner seyn, z. B. bei einem Versuche, als der Durchmesser des Sonnenbildes auf der einen Fläche 6 Lin., auf der andern 24 Lin. betrug; ja es war dieses sogar der Fall, als das eine Gefäfs 1 Zoll diesseit, das andere 1 Z. jenseit des Brennpunctes stand; als aber die eine Linse weggenommen war und ein dem früheren gleicher Lichtkegel auffiel, war die erzeugte Erwärmung ungleich stärker[1]. Rumford zieht hieraus den Schlufs, dafs die Quantität Wärme, welche durch die Sonnenstrahlen erregt und mitgetheilt wird, unter allen Umständen der Quantität Licht gleich ist, die verschluckt wird. Diesemnach ist also, wie oben bemerkt wurde, die absolute Menge der durch Brenngläser und Brennspiegel erzeugten Wärme kleiner, als die durch freie Lichtcylinder von gleicher Grundfläche hervorgebrachte, und die blofs scheinbare Vermehrung ist Folge der starken Concentrirung auf einen ungleich kleineren Raum. Hier kann auch noch die durch Flaugergues[2] bei Gelegenheit der Sonnenfinsternifs im J. 1820 gemachte Beobachtung erwähnt werden, wonach die Sonnenstrahlen eine gleiche erwärmende Kraft besitzen, sie mögen vom Rande oder aus der Mitte der Sonne kommen.

52) Um die verschiedenen Bedingungen, welche in Be–

---

1 Aus Melloni's demnächst zu erwähnenden Versuchen folgt dieses nothwendig, denn das Glas ist in einem weit höheren Grade diaphan als diatherman (§. 311).

2 Journ. de Phys. T. XCII. p. 435.

ziehung auf die Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen zu berücksichtigen sind, übersichtlicher darzustellen, wollen wir sie einzeln untersuchen, so weit sie sich von einander abgesondert darstellen lassen.

a) Eine der wesentlichsten Bedingungen ist die *Höhe der Sonne*, sofern die Sonnenstrahlen hiernach gerader oder schiefer auffallen. Betrachtet man die auf der Erdoberfläche erzeugte Wärme bloſs als Folge der lothrecht oder in einem gewissen Winkel schief auffallenden Sonnenstrahlen, so hat L. Euler[1] die unter verschiedenen Breitengraden erzeugte durch Berechnung auszudrücken gesucht, und schon Halley[2] hat den Wechsel derselben in den verschiedenen Jahreszeiten bestimmt; allein hierbei ist zugleich die wachsende Dicke der Luftschicht, welche die Lichtstrahlen bei schieferem Auffallen zu durchdringen haben, sehr zu berücksichtigen. Halley lieſs diese Bedingungen unberücksichtigt und setzte die Wirkung der Sonnenstrahlen gegen die Erdoberfläche, indem er dieselbe mit dem Stoſse eines elastischen Körpers verglich, dem Sinus des Winkels proportional, welchen sie mit den gestoſsenen Flächen bilden. Heiſst also dieser Winkel h und ein Element des Stundenwinkels $\partial t$, so erhält man

$$\text{Sin. } h \, \partial t.$$

Bezeichnet dann $\varphi$ die Breite eines Ortes und $\delta$ die Abweichung der Sonne, t den halben Tagebogen, so giebt das Integral dieser Formel den Ausdruck:

$$\text{Cos. } \varphi \,.\, \text{Cos. } \delta \text{ Sin. } t + \text{Sin. } \varphi \text{ Sin. } \delta \text{ Cos. } t,$$

wonach die Wirkung der Sonne unter dem Aequator in den Nachtgleichen für den halben Tagebogen $=$ Sin. t Cos. $\delta = 1$ und also für den ganzen Tag $= 2$ seyn würde. Da aber nicht bloſs der dem Sinus des Einfallswinkels proportionale Stoſs der Sonnenstrahlen, sondern auch die Menge der in einem gegebenen Zeitelemente auffallenden Sonnenstrahlen zu berücksichtigen schien, welche gleichfalls dem Sinus des Einfallswinkels proportional ist, so setzte man die Wirkung der Sonnenstrahlen dem Quadrate des Sinus des Einfallswinkels oder dem Quadrate des Cosinus der Breite proportional. Diesemnach wäre also die Intensität der Sonnenstrahlen, wenn sie unter dem

---

1 Comm. Petrop. T. XI. p. 82.

2 Phil. Transact. N. 203. T. XVII. p. 878.

Aequator = 1 gesetzt wird, unter einer Breite $\varphi$ dem Quadrate des Cosinus $\varphi$ gleich. Aehnliche Ansichten hegten Simpson[1], Kästner[2] und hauptsächlich Tobias Mayer[3], welcher hiernach die mittlere Wärme unter verschiedenen Breitengraden berechnete. Mairan[4] dagegen wollte auch den verschiedenen Abstand der Sonne von der Erde und die Schwächung des Lichts bei seinem Durchgange durch die Atmosphäre berücksichtigt wissen und nahm, um der Erfahrung zu genügen, zum Einflusse der Erdwärme seine Zuflucht[5]. Bei weitem am gründlichsten und umfassendsten sind die ausführlichen Untersuchungen von Tralles[6] über die Erwärmung der Erde von der Sonne, deren Resultate sich jedoch nicht in eine kurze Uebersicht zusammendrängen lassen und wegen so mancher örtlich wirkenden Bedingung mit der Erfahrung nicht übereinstimmen können. Darf als bewiesen angenommen werden, dafs die erzeugte Wärme der Stärke des auf die Erdoberfläche fallenden Lichtes proportional sey, so müfste man dabei die gehaltreichen Untersuchungen zum Grunde legen, welche Lambert[7], La Place[8] u. A. über die der Höhe eines Gestirns proportionale Intensität des Lichts angestellt haben, worüber ich auf dasjenige verweise, was Kämtz[9] dahin gehörig mitgetheilt hat. Die allgemeine Ansicht hierüber ist, dafs die wärmeerzeugende Kraft der Sonne im Zenith am stärksten ist und allmälig mit zunehmenden Breitengraden vermindert wird, wonach also diese Ursache als eine der wirksamsten der nach den Polen hin wachsenden Kälte betrachtet wird. Inzwischen ist auch dieser Satz, dafs die wärmeerzeugende Kraft der Sonnenstrahlen unter niederen Breiten stärker sey, als unter höheren, in Zweifel gezogen worden; ehe wir aber die hierfür aufgestellten Gründe gehörig

---

1 Treatise of Fluxions. p. 182.

2 Hamburg. Magazin. Th. II. S. 426. Vergl. Lulofs Einleitung zur Kenntnifs d. Erdkugel. S. 97. Anm.

3 Opp. ined. Gott. 1775. 4. N. I.

4 Nouvelles Recherches sur la cause générale du chaud en été et du froid en hiver. Par. 1768. 4.

5 Vergl. *Temperatur.* Bd. IX. S. 595.

6 Berliner Denkschriften. 1818 u. 1819. S. 52.

7 Photometria. §. 878.

8 Mécanique céleste. T. IV. p. 282.

9 Meteorologie. Th. II. S. 6.

würdigen können, müssen wir zuerst die anderweitigen Bedingungen kennen lernen, welche auf jene Kraft einen Einflufs ausüben.

53) b) Eine zweite, gleichfalls sehr wesentliche Bedingung ist der *Einflufs der Medien*, durch welche die Sonnenstrahlen dringen, ehe sie die Erdoberfläche erreichen. Allezeit müssen sie die atmosphärische Luft durchdringen und werden um so viel mehr hierdurch geschwächt, je mehr diese durch Wasserdunst oder andere undurchsichtige Partikeln, also durch Nebel, Wolken, die Bestandtheile des Höhenrauches u. s. w., getrübt ist. Es läfst sich hierfür nicht wohl ein bestimmtes Mafs auffinden, um zu bestimmen, in welchem Verhältnisse die Absorption des Lichtes und die hierdurch bewirkte Schwächung des Erwärmungsvermögens der Sonnenstrahlen durch die Luft zur Trübung der letzteren steht; inzwischen haben wir mehrere hierüber angestellte Versuche, die später erwähnt werden sollen. Da aber die atmosphärische Luft schon an sich nach oben an Dichtigkeit abnimmt, so mufs auch die Absorption des Lichts durch dieselbe mit der Höhe abnehmen, woraus die gröfsere Hitze erklärlich wird, welche die Sonnenstrahlen auf Berghöhen, als in geringer Erhebung über der Meeresfläche erzeugen. Berücksichtigen wir hier zuerst einige Erfahrungen, bei denen anderweitig bedingende Einflüsse weniger in Betracht kommen, so erzählt schon de Saussure[1], dafs er eine kleine Brennlinse, welche zu Genf gerade hinreichte, um Zündschwamm zu entzünden, auf den Berg Salève getragen und ihre Kraft daselbst nicht blofs gleich, sondern sogar vermehrt gefunden habe. Nach den Versuchen von Bouguer[2] verliert das senkrecht durch die heitere Atmosphäre dringende Licht nahe den dritten Theil seiner Stärke; am belehrendsten hierüber sind aber die neuesten Versuche von Forbes und Kämtz[3], indem sie zwei Aktinometer am Fufse und auf verschiedenen Höhen des Faulhorns mit einander verglichen. Sie überzeugten sich bald, dafs diese Apparate sehr geeignet sind, den Wärmeverlust anzuzeigen, welchen die Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgange durch die

---

1 Voyages dans les Alpes. T. II. p. 363.

2 Optica. p. 174. Vergl. de Luc Briefe über die Geschichte d. Erde. Br. 141. Leipz. Samml. Th. II. S. 643.

3 Poggendorff's Ann. XXXII. 463.

Luft erleiden, und fanden dann, dafs selbst bei dem heitersten Wetter dieser Verlust für eine Luftschicht von 6000 Fufs Dicke nicht weniger als 0,2 beträgt. In gleichen Erhebungen über der Meeresfläche wechselt die Intensität der Sonnenstrahlen nicht selten sehr bedeutend, ohne dafs eine veränderte Trübung in solchem Grade wahrnehmbar wird, als man erwarten sollte.

54) c) Die dritte, bei weitem bedeutendste und am längsten bekannte Bedingung, wovon die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen am meisten abhängt, ist die *Beschaffenheit und hauptsächlich die Farbe* der Körper, worauf sie fallen. Allgemein bekannt ist zuerst, dafs sowohl die Lichtstrahlen, als auch die Wärmestrahlen von polirten Flächen zurückgeworfen werden; das Erstere, was näher bezeichnet Spiegelung heifst, gehört nicht hierher, das Zweite, welches zur Wärmestrahlung gehört, wird später ausführlicher erörtert werden, und es bleibt also hier nur im Allgemeinen zu bemerken, dafs die Sonnenstrahlen in Körpern mit rauher Oberfläche mehr Wärme entwickeln, als wenn sie auf eine glatte auffallen. Bei weitem vom gröfsten Einflusse ist aber die Farbe der Körper, in welcher Beziehung als allgemein gelten kann, dafs dunkle mehr erhitzt werden, als helle. Schon Cartesius[1], welcher die Zurückwerfung der Lichtstrahlen mit seiner allgemeinen Bewegungstheorie in Verbindung brachte, bemerkte, dafs weifse Körper das Licht mehr zurückwerfen, schwarze mehr verschlucken. Kepler[2] kannte die Thatsache, leitete aber die Ursache davon ab, dafs schwarze Körper trockner und entzündbarer seyen, als anders gefärbte. Die ersten umfassenden und eigentlich wissenschaftlichen Versuche über dieses Problem stellte Robert Boyle[3] an und machte sie schon im Jahre 1663 bekannt. Indem er verschiedenfarbige Papierstreifen in einem dunklen Zimmer den einfallenden Lichtstrahlen aussetzte, fand er, dafs weifse am meisten Licht reflectirten; als grüne, rothe und blaue verglichen wurden, reflectirten die rothen am meisten, gelb mit grün und blau verglichen gab mehr, auch etwas mehr als purpurfarbenes, doch reflectirte blaues mehr als purpurfarbenes. Wenn er seine Hände mit einem weifsen und einem schwarzen

1 Dioptrica. p. 50.

2 Dioptrica. Prop. 13. Vergl. Priestley History of discoveries relating to vision cet. Lond. 1772. p. 141.

3 Works. By Birch. Lond. 1772. T. I. p. 725.

Handschuh den Sonnenstrahlen aussetzte, wurde der schwarze mehr erhitzt. Zu einem weiteren Versuche nahm er einen langen und breiten Dachziegel, überzog die eine Hälfte schwarz, die andere weifs und fand beim Aussetzen an die Sonnenstrahlen, dafs die weifse Hälfte kalt blieb, während die schwarze stark erhitzt wurde. Demnächst liefs er zwischen beiden genannten Ueberzügen einem Theile seine natürliche rothe Farbe, und fand, dafs Weifs am wenigsten, Roth mehr und Schwarz am stärksten erhitzt wurde, auch berichtet er, von einem glaubhaften Freunde gehört zu haben, dafs schwarz gefärbte Eier in heifsen Klimaten kurze Zeit den Sonnenstrahlen ausgesetzt gesotten werden. Dr. Hooke[1] vermehrte die bis dahin bekannten Thatsachen durch die Bemerkung, dafs, wenn weifs und schwarz gefärbter Marmor unter gleichen Bedingungen den Strahlen eines Küchenfeuers ausgesetzt wurden, der schwarze eine höhere Temperatur annahm. Sehr zahlreiche Versuche über die ungleiche Erwärmung verschiedener und verschieden gefärbter Körper durch die Sonnenstrahlen verdanken wir dem überaus fleifsigen Peter van Musschenbroek[2], indem er das Verhalten gleich grofser Streifen von Eisen, Blei, Marmor, Schwefel, Alaun, Holz, Federn, Wolle, Baumwollenzeug, Leinwand, Seidenzeug, behaarter Thierhäute u. s. w., so wie die Erhitzung gleicher, mit verschiedenen Farben überstrichener Holzstreifen vermittelst eines empfindlichen Luftthermometers untersuchte und im Ganzen das Resultat erhielt, dafs dunkle, das Licht weniger durchlassende und wenig reflectirende Körper am stärksten erhitzt werden. Joh. Heinr. Lambert[3] kannte die von Dalenzé gemachte Erfahrung, dafs von zwei gleichen, in den Sonnenstrahlen liegenden Stücken Marmor das schwarze sehr, das weifse nur unmerklich erhitzt wurde, desgleichen den von Pistoi zu Siena angestellten Versuch, welcher die eine Halbkugelfläche eines Quecksilberthermometers mit Lampenrufs schwärzte, worauf dieses im Schatten 26°,25 C., mit der freien Seite gegen die Sonne gehalten 40°, mit der geschwärzten 43°,75 zeigte, und wurde hierdurch zu einer grofsen Reihe eigener Versuche mit ungefärbten, geschwärzten

---

1 Birch History of the Royal Soc. T. IV. p. 175.
2 Introductio ad Phil. Nat. T. II. p. 641. 651.
3 Pyrometrie. Berl. 1779. 4. S. 151.

und verschieden gefärbten Quecksilber- und Weingeistthermometern veranlafst, welche im Allgemeinen das Resultat gaben, dafs unter übrigens gleichen Bedingungen die Erwärmung dunkler Körper am stärksten ist. Ueberblickt man aber die erstaunliche Menge von Thatsachen, welche BOECKMANN[1] aus nicht weniger als 204 Versuchsreihen entnommen und zusammengestellt hat, worin er die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen bei den verschiedensten, vielfach modificirten und ungleich farbigen oder gefärbten Körpern erforschte, so gelangt man zu der Ueberzeugung, dafs hierdurch die Aufgabe, sofern es sich blofs um die Erfahrung handelt, hinlänglich erschöpft ist; es würde aber eine nochmalige sehr schwierige und weitläuftige Arbeit erfordern, wenn man unternähme zu bestimmen, wie und auf welche Weise die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen durch das Gefüge, die Dichtigkeit, die chemische Natur und die Farbe der verschiedenen Körper bedingt wird.

55) Am bekanntesten sind die Versuche, welche FRANKLIN[2], ungefähr 100 Jahre später als BOYLE, anstellte und im Jahre 1761 bekannt machte. Im Allgemeinen fand er, dafs schwarze Kleider in der Sonne mehr erwärmen, als weifse, auch gleichmäfsig nafs schneller trocknen, desgleichen dafs die Strahlen eines Feuers leichter durch schwarze als durch weifse Strümpfe dringen. Dieses veranlafste ihn, gleich grofse Scheiben verschiedenfarbigen Tuches an heitern Tagen Morgens auf einer freien Schneefläche auszubreiten. Die Farben waren schwarz, dunkelblau, hellblau, grün, purpurn, roth, gelb, weifs und einige zwischenliegende gemischte Farben. In wenigen Stunden war die schwarze Scheibe so tief eingesunken, dafs die Sonnenstrahlen sie nicht mehr erreichten, die dunkelblaue fast ebenso, die hellblaue weniger und die übrigen Farben um so viel weniger, je heller sie waren, die weifse aber war gar nicht eingesunken. WATSON[3] hing bei heiterem Himmel ein Thermometer in die Sonnenstrahlen und fand, dafs es sofort stieg, bei 42°,2 C. aber stationär wurde. Alsdann überzog er die Kugel mit Tusch,

---

1 Versuche über die Erwärmung verschiedener Körper durch die Sonnenstrahlen. Eine von der Gött. Soc. gekrönte Preisschrift. Karlsr. 1811. 8.

2 Letters on philos. subjects. p. 56. Works. Lond. 1816. T. II. p. 109. Vergl. Journ. de Phys. 1773. T. II. p. 381.

3 Philos. Trans. abridg. T. VIII. p. 371.

wodurch seine Wärme augenblicklich vermindert wurde, nachher aber stieg sie wieder bis 47°,8. Aehnliche Versuche, als diese, gehören zu den frühesten des Sir Humphry Davy[1]. Dieser nahm 6 Kupferscheiben, jede 1 Zoll ins Gevierte und 2 Lin. dick, überzog die eine Fläche mit weiſser, gelber, rother, grüner, blauer und schwarzer Farbe und brachte im Centrum der andern eine Zusammensetzung von Oel und Wachs an, die bei 24°,5 C. schmolz, befestigte dann alle auf einer weiſsen Tafel und setzte sie den Sonnenstrahlen aus. Das Cerat schmolz bei der schwarzen zuerst, dann bei der blauen, nächstdem bei der grünen und rothen, am spätesten bei der gelben, und bei der weiſsen war es kaum erweicht. Weitere Versuche über diesen Gegenstand sind von ihm nicht bekannt, inzwischen sagt er[2] im Allgemeinen, daſs die Fähigkeit, durch die Strahlen der Sonne und des Küchenfeuers erwärmt zu werden, nach der Beschaffenheit der Körper sehr verschieden sey und hauptsächlich mit ihren Farben im Zusammenhange stehe. Schwarze Körper werden stärker erhitzt, als rothe, und so abnehmend durch grüne und gelbe bis zum Minimum bei den weiſsen. Metalle werden weniger erhitzt, als Steine oder als vegetabilische und thierische Körper, polirte Flächen weniger als rauhe. John Leslie[3] überzog drei Seiten eines würfelförmigen zinnernen Gefäſses mit Lampenruſs, Bleiweiſs und Mennig, und fand deren Erwärmung, wenn sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt wurden, im Verhältniſs von 100 zu 85 und 90. Auf gleiche Weise fand Cavallo[4], daſs ein Thermometer mit geschwärzter Kugel, den Strahlen der Sonne und des Feuers ausgesetzt, höher stand, als eins mit nicht geschwärzter; nach Pictet's[5] Versuchen aber standen beide im Schatten gleich hoch.

56) Eine Reihe von Versuchen über die Fähigkeit verschiedener Holzarten, durch Sonnenlicht erwärmt zu werden, hat Schmidtmüller[6] mitgetheilt. Alle von ihm verwandte

---

1 Contributions to physical knowledge. By Th. Beddoes. Bristol 1799. p. 44.

2 Elements of chemical philosophy. Lond. 1812. T. I.

3 Essay on Heat. p. 93.

4 Philosophical Transactions. 1792.

5 Essay sur le Feu. chap. IV.

6 G. XIV. 306.

Hölzer waren vorher hinlänglich ausgetrocknet, wurden dann zu Spähnen geraspelt und diese in ein Kästchen von der nämlichen Holzart gethan. Da es aber den Versuchen an einem eigentlichen Puncte der Vergleichung fehlt, so theile ich nur einige allgemeine Resultate mit. In Kirschbaumholz stieg das Thermometer binnen 72 Minuten von 18°,75 auf 34°, während ein anderes Thermometer in der Sonne 37°,5 zeigte; in Erlenholz binnen 82 Minuten von 17°,5 auf 32°,5, während das Thermometer in der Sonne von 31°,25 auf 41°,25 stieg; in wildem Birnbaumholze stieg das erstere binnen 88 Min. von 20° auf 30°, das letztere von 37°,5 auf 40°; in Weiſstannenholz waren binnen 90 Min. beide Stände von 20° bis 31° und von 37°,5 bis 41°,25, in Espenholz binnen 89 Minuten von 21° bis 31° und von 38° bis 42° gestiegen. Hiernach schützte also das im Ganzen weiſse Holz gegen die stärkere Wärmeerregung, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, daſs bei den angegebenen Versuchen eigentlich der Stand des Thermometers in den verschiedenen Holzarten mit dem eines andern Thermometers im Schatten verglichen werden muſste.

57) In der neuern Zeit hat James Stark[1] eine bedeutende Reihe von Versuchen angestellt, die sich jedoch nicht gerade darauf beziehn, inwiefern die auffallenden Sonnenstrahlen ungleich farbige Körper mehr oder weniger erwärmen, sondern den Einfluſs der Farben auf die leuchtenden und dunkeln Wärmestrahlen überhaupt zu ermitteln bestimmt sind. Wenn aber den Farben, als solchen, ein bedeutender Einfluſs auf die Wärmestrahlen beigelegt wird, so ist dabei nicht berücksichtigt, daſs die Versuche mit gefärbten Körpern angestellt wurden, deren eigenthümliche Zusammensetzung, zum Theil durch die Ungleichheit der angewandten Pigmente bedingt, auf die Aufnahme oder Erzeugung der Wärme eine bedeutende Wirkung ausüben muſs, wie schon John Leslie und besonders auch Baden Powell[2] richtig bemerkt haben und ganz unverkennbar aus den zahlreichen Versuchen von A. D. Bache[3] hervorgeht, in denen die nämlichen Farben sehr abweichende

---

1 Philosoph. Trans. 1833. p. 285. Edinb. New Phil. Journ. N. XXXIII. p. 65.

2 Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXIV. p. 231.

3 Silliman Amer. Journ. T. XXX. p. 16. Vergl. unten §. 266.

Resultate gaben. Aus der Summe zahlreicher Versuche und Beobachtungen geht aber zur Evidenz hervor, dafs im Allgemeinen die Sonnenstrahlen in dunkeln und rauhen Körpern mehr Wärme entwickeln, als in hellen und glatten. Endlich könnten hier die neuesten wichtigen Versuche von Pouillet erwähnt werden, es scheint mir aber geeigneter, sie von den daraus abstrahirten Folgerungen nicht zu trennen, und sie daher bis ans Ende dieses Abschnittes zu versparen, wo von dem eigentlichen Wesen der Wärmeentwickelung durch die Sonne gehandelt wird.

58) Nehmen wir die erwähnten drei Bedingungen zusammen, so erklären sich manche Resultate leicht, die deswegen nur einer kurzen Erwähnung bedürfen. Dahin gehört das schnellere Schmelzen des Schnees, wenn er beschmuzt ist[1], als wenn seine blendend weifse Farbe die Sonnenstrahlen stärker zurückwirft, weswegen man auch an manchen Orten den Schnee mit Erde und Asche zu bestreuen pflegt, um sein schnelleres Aufthauen zu befördern. Nach v. Humboldt[2] werden schwarze Felsen am Tage heifser, als weifse, verlieren aber bei Nacht ihre Wärme schneller, und selbst in kalten Gegenden bringt man Früchte, welche dort unter gewöhnlichen Bedingungen nicht gedeihen, dadurch zur Reife, dafs man sie gegen die kalte Luft durch Umgebungen schützt, die aufserdem in Folge ihrer dunklern Farbe die Sonnenwärme bedeutend erhöhn. Es ist daher ganz natürlich und keineswegs zu bewundern, wenn die durch die klare Salzsoole dringenden Sonnenstrahlen den dunkeln Boden bedeutend erhitzen, wie Prinsep[3] in Ostindien bemerkte. Wie grofs übrigens die wärmeerzeugende Kraft der Sonne auch in nördlichen Gegenden in Folge der klaren Atmosphäre sey, ergiebt sich aus einer Angabe von Hansteen[4], wonach der Schnee in Sibirien auf den Dächern schmilzt, wenngleich die Temperatur der Umgebung — 25° bis — 38° C. beträgt. Dahin gehört auch die bekannte Erfahrung, dafs bei anhaltender Kälte, wenn die Temperatur der

1 Rozier sah im Jan. 1764 in Paris, dafs der überall verbreitete Schnee auf den Kohlenschiffen und da, wo Kohlen zerstreut lagen, gänzlich fehlte. Journ. de Phys. T. III. p. 183.

2 Reisen. Deutsche Ueb. Th. IV. S. 25.

3 London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXXV. p. 26.

4 Bibl. univ. T. XLII. p. 261.

Luft nie den Schmelzpunct des Eises erreicht, dennoch der Schnee um die aus ihm hervorragenden Halme, Stauden und Bäume weggeschmolzen wird. Auf Veranlassung einiger Beobachtungen Fusimeri's[1], welcher diese Phänomene mit der gewöhnlichen Theorie unvereinbar fand, weil die in den Bäumen und Gesträuchen durch die Sonnenstrahlen entwickelte und dem Schnee mitgetheilte Wärme unmöglich gröfser seyn könne, als die der eigentlichen Wärmequelle, der Sonnenstrahlen selbst, den aufserdem hindernden Schatten nicht zu rechnen, hat Melloni[2] das ganze Problem genauer und mit Hinzufügung der Resultate eigens angestellter Versuche erklärt, unter denen folgende die wichtigsten sind. Er überstrich seinen Thermomultiplicator nach Wegnahme des Kienrufsüberzuges mit Bleiweifsfarbe und erhielt dann eine geringere Abweichung der Magnetnadel bei einer Wärmequelle von gleicher Stärke als vorher; die Abweichung nahm aber zu, als er ein Blatt dunkelgraues Papier vor die Oeffnung des Thermomultiplicators hielt. Um die ungleiche Wärmeabsorptionsfähigkeit des Schnees zu prüfen, liefs er auf die beiden, die entgegengesetzten Löthstellen einschliefsenden Oeffnungen seines Thermomultiplicators von der einen Seine eine argand'sche Lampe, von der andern eine bis 400° C. erhitzte Kupferscheibe wirken und näherte beide Wärmequellen allmälig so, dafs ihre Wirkungen gleich waren, dann nahm er die thermoelektrische Säule weg und setzte genau an deren Stelle eine kupferne Röhre von gleicher Weite als die, welche die thermoelektrische Säule umschlofs, und welche mit lockerem Schnee gefüllt war, dessen äufsere Flächen, mit einem Bretchen abgestrichen, gleich grofse Ebenen darboten. Die Wirkungen der beiden genannten Wärmequellen waren dann keineswegs gleich, sondern die Kupferscheibe schmelzte mehr Schnee, als die Lampe; hielt er aber eine kleine Scheibe geschwärztes Papier vor die Mitte der Cylinderfläche des Schnees, so verminderte diese die Wirkung der Kupferscheibe, verstärkte aber die der Lampe. Hiernach schliefst er, dafs der Schnee wenig Wärme absorbire, desto mehr aber

---

1 Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto. 1838. p. 38.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXVIII. p. 442. Bibl. univ. 1838. N. XXIX. p. 149. Compt. rend. T. VI. p. 801. Poggendorff's Ann. XLIV. 357. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 242.

reflectire, wodurch das Phänomen genügend erklärt wird, sofern nach einer sehr allgemein herrschenden Ansicht in den dunkeln Körpern durch die Sonnenstrahlen mehr Wärme entwickelt und dem Schnee mitgetheilt, als in letzterem durch die unmittelbar auffallenden Sonnenstrahlen erregt wird. Melloni nimmt aufserdem an, dafs der freiliegende Schnee mehr Wärme gegen den heitern Himmel ausstrahle, als der theilweise beschattete, dafs er dadurch kälter erhalten werde und minder leicht schmelze, was jedoch nach meiner Ansicht zur Erklärung unnöthig ist.

59) Hierher gehören auch die interessanten Versuche des Grafen Rumford[1]. Dieser liefs sich drei gleiche cylindrische Kästchen von leichtem Holze verfertigen, 4,5 Z. im Durchmesser und 3 Z. hoch, welche 1,75 Z. über dem Boden mit einer auf kurzen hölzernen Trägern ruhenden Scheidewand ab versehn waren. Der Boden der Kästchen war durchbohrt, und ein Thermometer wurde vermittelst eines Korkes in dem abgeschlossenen Raume so festgehalten, dafs das birnförmige Gefäfs desselben sich genau in der Mitte dieses mit gleichen Mengen platter, von alten aufgewickelten Tressen genommener Silberfädchen befand. Die Scheidewände der drei Kästchen bestanden beim ersten aus Messingblech, beim zweiten aus verzinntem Eisenblech, beim dritten aus Schwarzblech. Um die Ableitung der Wärme zu verhindern, war der Boden und die Seitenwandung der Kästchen inwendig und auswendig mit aufgeleimtem Papier und dann dreimal mit Kopalfirnifs überzogen und die Aufsenseite während des Versuchs mit Pelzwerk umgeben. Alle drei Apparate wurden neben einander vor einem Fenster den Sonnenstrahlen so lange ausgesetzt, bis sie das Maximum der Temperatur angenommen hatten, wobei das Kästchen mit Eisenblech am wärmsten wurde; als aber nachher alle drei gleichzeitig weggenommen und umgekehrt auf einem Tische in den Schatten hingestellt waren, zeigte sich, dafs gerade dieses nach einiger Zeit kälter war, als die beiden andern. Diese Resultate sind jetzt weniger auffallend, als sie damals dem Experimentator seyn mufsten. Ueberhaupt schienen anfangs die Ergebnisse dieser Versuche, welche Rumford, hauptsächlich aber derjenigen, welche Everard Home[2] nicht lange nachher

Fig. 38.

1 Mémoires sur la chaleur. Par. 1804. p. LI.

2 Philosophical Trans. 1821. Part. I.

anstellte, mit andern bekannten Erfahrungen im Widerspruch zu stehn, aber aus dem richtigen Gesichtspuncte betrachtet dienen sie vielmehr zur Bestätigung. Es ergab sich nämlich, dafs die schwarze Haut der Neger der erhitzenden Einwirkung der Sonnenstrahlen besser widersteht, als die weifse der Europäer, was wohl zum Theil eine Folge des fettigen Glanzes ist, zum Theil aber auch daher rührt, dafs die Sonnenstrahlen nicht durch die schwarze Substanz dringen, welche die Haut färbt, und die darunter befindlichen verletzbaren Theile nicht zerstören, sondern von dieser absorbirt und dadurch unschädlich werden. Aus den Versuchen Home's ergab sich aber ferner, dafs von beiden Händen, wenn die eine mit einem schwarzen, die andere mit einem weifsen Handschuh bedeckt war, die erstere durch starke Sonnenhitze nicht verletzt, die letztere aber versengt wurde. Hierbei ist sehr deutlich, dafs der schwarze Ueberzug durch Verschluckung der Sonnenstrahlen schützend wirkte.

60) Wir müssen jetzt die oben §. 52 u. 53 kurz berührten Sätze, dafs die Wärmeerzeugung durch die Sonnenstrahlen mit der Höhe zunimmt und mit zunehmenden geographischen Breiten abnimmt, näher beleuchten. Der erste Satz, *dafs die Sonnenstrahlen auf hohen Bergen,* wenn sie eine dünnere und weniger mit trübenden Mitteln gemengte Luftschicht durchdringen, mehr *Wärme erzeugen,* folgt aus der Natur der Sache, und wäre nie als etwas Auffallendes betrachtet worden, wenn er nicht mit der so enormen Kälte auf den Spitzen hoher Berge in scheinbarem Widerspruche stände. Es bedarf, um die Thatsache zu begründen, nicht einmal eigentlicher Versuche, denn das blofse Gefühl reicht schon hin, um sich davon zu überzeugen, indem die Reisenden, welche hohe Berggipfel bestiegen haben, in der Regel über die dort empfundene unangenehme Wärme der Sonnenstrahlen klagen, was jedoch hauptsächlich als eine Folge des Gegensatzes der enorm kalten Umgebung zu betrachten ist. Beispielsweise möge hier angeführt werden, dafs ein Reisender[1] in den Himalaya-Gebirgen auf einer Höhe von 14700 engl. Fufs ein Dorf antraf, wo im October des Morgens das Thermometer — 8°,4 C. zeigte, dennoch aber waren die Sonnenstrahlen unangenehm und alle Ge-

1 Edinburgh Journ. of Science. New Ser. N. III. p. 133.

wässer, welche während der Nacht eine Eisdecke erhalten hatten, zeigten um 2 Uhr Nachmittags davon keine Spur mehr. Schon DE SAUSSURE[1] stellte über dieses Problem künstliche Versuche an. Auf der Spitze des Cramont, in einer Höhe von 4662 Par. F., beobachtete er zwei Thermometer, welche eine Stunde lang um die Mittagszeit das eine auf geschwärztem Kork in den Sonnenstrahlen das andere im Schatten gelegen hatten, und fand ersteres 25°,25 C., letzteres 6°,25 zeigend; am andern Tage wiederholte er den Versuch zu Courmayeur unter gleichen Bedingungen, und erhielt 33°,75 und 23°,75, wonach also der Unterschied oben 19° C., unten aber nur 10° C. betrug. Hieraus würde folgen, dafs die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen durch eine Luftschicht von nicht ganz 5000 F. Dicke fast um die Hälfte geschwächt würde, allein dieses Resultat ist nach den weit genauern Versuchen mit dem Aktinometer (§. 53) zu grofs, was als eine Folge der mangelhaftern Apparate und der nicht völlig genügenden Methode der Beobachtung erscheinen mufs.

61) Die Richtigkeit der Thatsache unterliegt jedoch nach den sehr genauen Versuchen des Capitain SABINE[2] keinem Zweifel. Die von ihm gebrauchten Thermometer waren selbstregistrirende, ein Quecksilberthermometer für das Maximum und Weineingeistthermometer für das Minimum; die freistehenden Kugeln beider waren mit Lampenrufs geschwärzt und mit schwarzer Wolle umgeben. Zum Messen der Lufttemperatur, ohne den Einflufs der Strahlung, diente ein 5 F. über den Boden aufgehangenes, durch ein Dach gegen die Sonnenstrahlen geschütztes, übrigens dem freien Zutritt der Luft ausgesetztes Thermometer, welches noch aufserdem durch einen umgebenden stark polirten, mit vielen Löchern durchbohrten, metallenen Cylinder von 8 Z. Durchmesser gegen jeden Einflufs der Strahlung geschützt wurde. Als Stationen dienten das Glacis von Fort Charles zu Port-Royal auf Jamaica und der benachbarte Berg von 4080 engl. F. Höhe, wo die registrirenden Thermometer auf kurzen Kräutern lagen. Der Unterschied der mittleren Temperaturen an beiden Orten während

1 Voyages dans les Alpes. T. II. p. 365.

2 An account of experiments to determine the Figure of the Earth cet. Lond. 1825. 4. p. 506. Vergl. Dublin Phil. Journ. N. II. p. 491.

der Beobachtungstage betrug 7°,22 C., auf der obern Station aber erzeugten die Sonnenstrahlen einen Ueberschufs über die Umgebung von 32°,77 C., auf der untern nur 20°,28 C. Wurden dagegen diese Thermometer bei Nacht beobachtet, so ging das frei liegende 8 F. über dem Meeresspiegel im Mittel 5° C., das auf dem Berge aber 10° C. unter das gegen Strahlung geschützte herab.

62) Die zahlreichsten Versuche über die Erzeugung der Wärme durch die Sonnenstrahlen unter den verschiedensten Bedingungen sind von Daniell[1] angestellt worden, welcher durch Bekanntmachung derselben die Aufmerksamkeit vorzüglich auf dieses Problem lenkte und zu weitern Untersuchungen desselben Veranlassung gab. Das zum Messen der Strahlung dienende Thermometer war mit schwarzer Wolle umgeben, eine Art der Vorrichtung, die auch bei spätern ähnlichen Versuchen dieser Art zur Anwendung kam. Aus Daniell's ganzjährigen Beobachtungen geht hervor, dafs der gröfste Effect der Sonnenstrahlen zu London 36°,11 C. betrug, statt dafs Sabine's Versuche zu Sierra Leone und zu Bahia nur 10°,15 gaben, und wenn wir auch die eben angegebenen, zu Jamaica erhaltenen Resultate nehmen, so bleiben sie doch an Gröfse hinter den zu London gefundenen zurück. Daniell folgerte hieraus, dafs die wärmeerzeugende Kraft der Sonnenstrahlen nach den Polen hin zunehme, worin ihn der Umstand bestärkte, dafs Parry im Monat März, in welchem das Maximum zu London nur 27°,22 C. betrug, 27°,9 erhielt. Ebenso erzählt Scoresby[2], dafs bei hellem Wetter in der Nähe von Spitzbergen die Sonnenstrahlen das Pech an den Schiffen zum Schmelzen bringen und daselbst eine Temperatur von 26° bis 32° C. erzeugen, während sie an der entgegengesetzten Seite im Schatten nur — 7° C. beträgt. Noch auffallender ist, dafs nach der Erzählung ebendieses unermüdeten Seemannes[3] einst im April, als um 2 Uhr Morgens die Temperatur — 20° C. betrug und um 10 Uhr im Schatten, nachdem die Wolken verschwunden waren, bis — 10° stieg, die Sonnenstrahlen eine so unglaub-

1 Meteorological Essays and observations. Lond. 1823. 8. p. 207 ff. Vergl. Encyclopaedia metropolitana. Art. Meteorologie. p. 55.

2 Account of the Arctic Regions. T. I. p. 378.

3 Voyage to the northern Whale-Fishery. p. 34.

liche Wärme erzeugten, dafs die Menschen an einer Seite ebenso drückende Wärme, als an der andern eine empfindliche Kälte empfanden und das Pech an dem Schiffe schmolz, wonach er die hierdurch erzeugte Wärme auf 45° C. schätzt. Nach den schätzbaren Beobachtungen, welche RICHARDSON[1] auf FRANKLIN's Reise anstellte, beträgt das Maximum der durch die Sonnenstrahlen erzeugten Wärme 36°,11 C. und fällt in den Monat März, im Mai dagegen beträgt dasselbe nur 23°,75; bei den zu Fort Franklin unter 65° 12′ nördl. Br., 125° 12′ westl. L. v. G. im Mai angestellten Beobachtungen beträgt dasselbe aber 27°,5 C. um 1 Uhr nach Mittag.

Eine werthvolle Reihe von Versuchen mit einem Thermometer, dessen Kugel mit schwarzem Tusch überzogen war, und wobei Nebenbedingungen möglichst vermieden wurden, hat FLAUGERGUES[2] schon in den Jahren 1815 und 1816 zu Viviers unter 44° 29′ nördl. Br. angestellt. Der Unterschied dieses Thermometers und eines nicht geschwärzten, im Schatten hängenden betrug im Mittel bei Windstille etwa 10° C., wobei die Extreme zwischen dem Minimum 8°,7 und dem Maximum 11°,4 schwankten. Wenn sich ein Wind erhob, so ward diese Gröfse bedeutend vermindert, und ging selbst bis 2°,5 oder 2° herab; auch schien es auffallend, dafs die Kraft im Winter gröfser oder mindestens ebenso grofs war, als im Sommer, woraus gefolgert wird, dafs sie zu allen Zeiten gleich sey, was jedoch zu voreilig geschlossen scheinen dürfte, da so manche anderweitige Bedingungen, namentlich die Reinheit der Luft, hierbei sehr in Betracht kommen.

63) DANIELL's Folgerung, dafs die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen mit den Graden der Breite zunehme, ist mehrfach angegriffen worden und bei genauer Untersuchung unhaltbar, wie auch aus der Theorie nothwendig folgt, wenn man berücksichtigt, dafs näher zum Pole die Sonnenstrahlen immer schiefer auffallen und

---

1 Narrative of a second Expedition to the shores of the Polar-Sea. By JOHN FRANKLIN. Lond. 1828. App. II.

2 Annales de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 381. Ausführlich in Journal de Physique T. LXXXVII. p. 256 ff. Er bediente sich hierzu eines eigenen Apparates, vermittelst dessen zwei geschwärzte Thermometer abwechselnd den Sonnenstrahlen ausgesetzt und durch einen Schirm dagegen geschützt wurden. In 243 günstigen Tagen machte er im Ganzen 9720 Beobachtungen.

einen längern Weg durch die Luft zurücklegen. Arago[1] wiederholt die Thatsachen, worauf Daniell seinen Schlufs bauet, und bestreitet dann denselben mit überwiegenden Gründen. Das zu London gebrauchte Thermometer war geschwärzt und mit Wolle umgeben, berührte aufserdem fast den Boden, zu Sierra-Leone aber war die Kugel blofs geschwärzt und 18 Z. vom Boden entfernt; zu Bahia und Jamaica finden ähnliche verschiedene Bedingungen statt, die eine genaue Parallele zwischen den Resultaten und denen zu London nicht gestatten. Ebenso sey auch bei der Vergleichung der unter hohen nördlichen Breiten angestellten Versuche mit denen zu London der Einflufs des mit Schnee bedeckten Bodens nicht genügend berücksichtigt. Sehr treffend ist das Argument, dafs unter Voraussetzung einer wirklichen Vergleichbarkeit der verschiedenen erwähnten Versuche ebenso gut eine verschiedene erwärmende Kraft der Sonne in America und Africa aus ihnen gefolgert werden könne, als die von Daniell aus ihnen abgeleitete. Pentland[2] erklärt sich gleichfalls gegen den von Daniell aufgestellten Satz, meint aber, die erwärmende Kraft der Sonne sey unter ungleichen geographischen Breiten nicht wesentlich verschieden, jedoch entscheiden seine eigenen Messungen vielmehr für denselben. Er erhielt nämlich mit zwei Thermometern, deren eins mit schwarzer, das andere mit weifser Wolle umgeben war, zwischen den Wendekreisen im Mittel 3°,62 C., in der Nähe des Cap Horn aber 3°,856. Wie viel bei solchen Versuchen auf Nebenbedingungen ankomme, hat Foggo[3] sehr überzeugend nachgewiesen. Um ihren Einflufs näher zu bestimmen, setzte er am 7ten Juli ein Thermometer, dessen Kugel mit schwarzer Wolle umgeben war, bei 15° C. äufserer Temperatur den Sonnenstrahlen frei hängend und nicht gegen den Wind geschützt aus; es stieg in 10 Min. bis 35°, auf Gras gelegt fiel es bis 15°,55 und stieg gleich darauf an der Sonne wieder auf 34°,45. Am 29sten desselben Monats stieg ein solches Thermometer, welches in einer Ecke gegen den Luftzug geschützt war, auf 65°,56, ein ähnliches auf dem Grase nur bis 48°,33,

---

1 Ann. de Chimie et Phys. T. XXVI. p. 375. Vergl. Daniell's Widerlegung in Journ. of the Royal Institut. T. XVIII.

2 L'Institut 1839. N. 270. p. 66.

3 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVII. p. 63.

und am nämlichen Tage etwas früher das erste bis 60°, das zweite bis 43°,33. Die Beobachtungen mit unbekleideten, der Sonne ausgesetzten Thermometern verwirft Foggo als durchaus ungenügend, weil die Sonnenstrahlen zu sehr davon zurückgeworfen werden. So zeigte ihm im heifsen Juli 1825 am 27sten um 3 Uhr das bekleidete Thermometer 65°,55 und ein unbekleidetes, gleichfalls der Sonne ausgesetztes 37°,22. Am 28sten bei einer Lufttemperatur von 16°,66 zeigte das bekleidete Thermometer von Mittag bis 2 Uhr 30 Min. nach einander 51°,66, 59°,44, 57°,22, das nackte 23°,88, 33°,33, 32°,22 und 30°,55. Wenn auch unter der äquatorischen Zone die von Daniell erwähnten Erwärmungen durch die Sonnenstrahlen denen unter höhern Breiten nachständen, so gebe es dort doch Messungen, die die grofse Kraft der Sonnenstrahlen, namentlich in Erhitzung des Bodens, aufser Zweifel setzten. So sah Barrow im Kaffernlande ein Thermometer in der Sonne bis 41°,2 steigen, und Bruce erwähne zu Gondar in Abyssinien 45° beobachtet zu haben, während zu Benares 43°, 45°, 48° C. nicht zu den Seltenheiten gehörten. Zu Sierra Leone mafs Winterbottom die Wärme des Bodens zu 58°,88, v. Humboldt die des groben Granitsandes zu 60°,2, während für England kein derartiges höheres Resultat bekannt ist, als das von Coldstream, welcher an einem heifsen Junitage die Temperatur einer mit Oelanstrich versehenen Gartenplanke = 48°,88 fand. Bekannt ist dagegen, was Gregory[1] erzählt, dafs im heifsen Sande unter der äquatorischen Zone schwarz gefärbte Eier gesotten werden.

Nach diesen Thatsachen, die sich noch bedeutend vermehren liefsen, unterliegt es keinem Zweifel, dafs Daniell aus einigen auffallenden Erscheinungen zu voreilig und ohne allseitige Würdigung aller Umstände geschlossen hat. Dafs die Sonnenstrahlen überhaupt unter höhern Breiten mehr Wärme erregen sollten, ist noch gar nicht hinlänglich erwiesen; gesetzt aber, die angegebenen Thatsachen führten zu dieser Folgerung, so ist diese dennoch nicht ohne Weiteres zulässig. Schon Richardson[2] bemerkt mit Recht, dafs die grofse Wärme

---

1 Haushaltung der Natur u. s. w. Ueb. von Kühn. Nürnb. 1798. II. Bd. Th. I. S. 74.

2 Narrative a. a. O.

der Sonnenstrahlen in den Polargegenden von der Reinheit der Luft herrühre, denn statt dafs diese in niedern Breiten, und namentlich in der äquatorischen Zone, stets mit Wasserdampf überladen ist, werden die Dünste unter höhern Breiten durch die Kälte bei Nacht niedergeschlagen[1]. Aufserdem aber ist noch folgender Umstand wohl zu berücksichtigen. Wenn wir den Sonnenstrahlen einmal eine gewisse wärmeerregende Kraft beilegen, so mufs diese, wenn sie lange genug einwirkt, ihrer Stärke proportionale Effecte hervorbringen und also da, wo sie am gröfsten ist, das Thermometer absolut am höchsten steigen machen. Hiernach kommt also nicht sowohl der Unterschied zweier Thermometer, als vielmehr der absolute Stand des mit Wolle umwickelten oder geschwärzten Thermometers in Betrachtung, mit Rücksicht darauf, dafs dieses in kälterer Umgebung von der aufgenommenen Wärme einen Theil wieder abgiebt. Dieser Verlust läfst sich ohne eigens angestellte Versuche nicht wohl würdigen, ist aber auf jeden Fall nach den bisherigen Erfahrungen nur ein kleiner Theil der stets neu zugeführten Wärme und kann daher nach längerer Zeit nicht mehr bedeutend bleiben. Eben daher gewinnen die Versuche mit dem Aktinometer sehr an Zuverlässigkeit, weil sie auf eine bestimmte Zeitdauer beschränkt sind. Betrachten wir hiernach einige der mitgetheilten Resultate, so zeigte Sabine's geschwärztes Thermometer zu Sierra Leone, Bahia und Jamaica zwar keine so hohe Wärme, als das von Daniell zu London beobachtete, welches Resultat durch andere Umstände bedingt seyn mag, allein Daniell erhielt dagegen als Maximum zu London 61°,66, auf Melville-Island aber wurden im März nur — 1°,1 C. beobachtet, was den gröfsern Effect unter niedern Breiten wohl aufser Zweifel setzt, wie grofs man auch den Verlust anschlagen mag[2]. Inzwischen ist dieser lange Zeit namentlich zwischen englischen Gelehrten geführte Streit neuerdings durch die Erfahrung entschieden worden, denn Herschel[3] fand mittelst des Aktinometers, dafs die thermometrische Wirkung

1 Nach den neuesten Untersuchungen müssen wir schliefsen, dafs die Diathermanie der reinen Luft ungleich gröfser ist, als die der mit Wasserdampf gemengten.

2 Vergl. James Dalmahoy in Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XXXIX. p. 182.

3 Compt. rend. 1836. T. II. p. 506. Poggendorff's Ann. IV. 318.

der Sonnenstrahlen auf dem Cap der guten Hoffnung 48°,75, in Europa aber nur 29°,5 C. beträgt. Im Ganzen genommen dürften aber nur die mit dem nämlichen Apparate und unter mindestens ähnlichen Bedingungen angestellten Versuche vergleichbare Resultate geben, denn der oben §. 50 erwähnten hohen Wärme, welche de Saussure durch sein Heliothermometer erzeugte, nicht zu gedenken, überzeugte sich Pouillet[1] durch wiederholte Versuche mit seinem Aktinometer (§. 95), dafs Thermometer, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Erhöhung der Temperatur von 3° und 4° bis 63° oder 64° über die der umgebenden Luft annehmen können, je nach den Bedingungen, die dabei statt finden. Hieraus erklärt sich leicht die grofse Verschiedenheit der erhaltenen Resultate. Nach Herschel soll die Gesammtwirkung der Sonnenstrahlen eine Eisdecke von 84,54 engl. Fufs (§. 49), nach Pouillet[2] eine solche von 14 Meter und in Folge seiner letzten Versuche[3] eine von 31 Meter (§. 91) Dicke zu schmelzen vermögen.

64) Daniell hat seine Versuche auch auf Nebenfragen ausgedehnt, deren Beantwortung zwar meistens von selbst folgt, besser aber aus der Erfahrung entnommen wird. Es war in den einzelnen Monaten nach Messungen mit dem geschwärzten Thermometer in hunderttheiligen Graden im Mittel

| | Wärme der Sonne | | | Wärme der Sonne | |
|---|---|---|---|---|---|
| | kleinste | gröfste | | kleinste | gröfste |
| Januar . . | 2°,75 . . | 6°,66 | Juli . . . | 19°,88 . . | 30°,55 |
| Februar . | 5,65 . . | 20,00 | August . . | 18,38 . . | 32,77 |
| März . . | 8,88 . . | 27,22 | September | 18,15 . . | 30,00 |
| April . . . | 15,65 . . | 26,11 | October . | 15,25 . . | 23,88 |
| Mai . . . | 16,87 . . | 31,66 | November . | 3,71 . . | 13,33 |
| Juni . . . | 22,16 . . | 36,11 | December . | 3,00 . . | 6,66 |

Hieraus geht hervor, dafs die erwärmende Kraft der Sonne mit ihrer zunehmenden Höhe schneller wächst, als mit der abnehmenden abnimmt. In welchem Verhältnifs das Erwärmungsvermögen der Sonne mit ihrer Erhebung über den Horizont stehe, darüber giebt folgendes mittlere Resultat aus 5 Beobach-

---

1 Mémoire sur la Chaleur solaire. Par. 1838. p. 48.
2 Elémens de Phys. 1me éd. 1830. T. II. p. 704.
3 Mémoire sur la Chaleur solaire. p. 41.

tungsreihen Auskunft, welche die den verschiedenen Tagsstunden zugehörigen Unterschiede des geschwärzten Thermometers in der Sonne und des im Schatten befindlichen angeben:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | Uhr | 30 | Min. | 17°,77 | C. | 2 | Uhr | 30 | Min. | 35°,00 | C. |
| 10 | - | 30 | - | 25,55 | - | 3 | - | 30 | - | 32,22 | - |
| 11 | - | 30 | - | 30,55 | - | 4 | - | 30 | - | 27,22 | - |
| 12 | - | 30 | - | 35,00 | - | 5 | - | 30 | - | 19,44 | - |
| 1 | - | 30 | - | 36,11 | - | 7 | - | 30 | - | 16,11 | - |

Zum Beweise, dafs auch unter hohen nördlichen Breiten die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen mit zunehmender Sonnenhöhe wachse, führt Harvey[1] die Messungen an, welche Capitain Back und Lieutenant Kendal auf der zweiten Reise Franklin's anstellten und wonach sie in den Jahren 1826 und 1827 als mittlere Kraft der Sonnenstrahlen erhielten:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| im November . . . | 5°,93 | C. | im Februar . . . | 19°,00 | C. |
| – December . . . | 3,85 | – | – März . . . . . | 25,10 | – |
| – Januar . . . . . | 8,48 | – | – April . . . . . | 29,45 | – |

Aufserdem erhielt Richardson im Jahre 1827 mit zwei Thermometern, deren eins auf gleiche Weise geschwärzt den Sonnenstrahlen ausgesetzt wurde, im Mittel im Mai 19°,44 C., im Juli 15°,55 und im August 14°,51. Inzwischen mufs es auffallen, dafs unter sehr hohen nördlichen Breiten die Wärme zwar mit zunehmender Sonnenhöhe wächst, dafs aber der gröfste Unterschied beider Thermometer, wonach man die Stärke der Irradiation zu messen pflegt, in den Monat März fällt[2]. Zum Beweise dieses merkwürdigen Satzes dienen folgende Erfahrungen[3]. Nach den Beobachtungen zu Fort Franklin unter 65° 12′ nördl. Br., 125° 12′ westl. L. v. G. betrug der gröfste Ueberschufs des geschwärzten Thermometers über das freie in den Jahren 1826 und 1827

---

1 Encyclopaedia metropolitana. Art. Meteorologie. p. 57.

2 Die Messungen von Back und Kendal sind die einzigen mir vorgekommenen, woraus dieses Resultat nicht hervorgeht und welche daher vor der Hand als Ausnahmen gelten müssen.

3 Narrative of a second Expedition to the shores of the Polar-Sea cet. By John Franklin. Lond. 1828. 4. App. III.

| | | | |
|---|---|---|---|
| im October | 13°,04 C. | im März | 36°,11 C. |
| – November | 17,22 – | – April | 28,33 – |
| – December | 15,55 – | – Mai | 27,80 – |
| – Januar | 21,93 – | – Juli | 21,38 – |
| – Februar | 26,11 – | – August | 18,00 – |

Auch zu Carlton-House unter 52° 51′ nördl. Br., 106° 13′ westl. L. v. G. betrug diese Gröſse 1827 im Februar 31°,66; im März 33°,33; im April 22°,77. Richardson leitet diese gröſsere Wirkung bei zunehmender Sonnenhöhe als bei abnehmender von der gröſsern Reinheit der noch nicht mit Dünsten verunreinigten Luft ab, es dürfte aber dabei auch der Umstand in Betracht kommen, daſs der im Winter tief erkältete Erdboden bei beginnender Wiedererwärmung durch die Sonnenstrahlen der Umgebung eine bedeutende Menge Wärme entzieht, und dadurch einen gröſsern Unterschied zwischen dem im Schatten hängenden und dem von der Sonne beschienenen Thermometer bedingt, als zu der Zeit, wenn der Boden bereits eine gröſsere Menge Wärme aufgenommen hat. Beide Ursachen mögen auch gemeinschaftlich bewirken, daſs unter höhern Breiten gleichfalls die wärmeerregende Kraft der Sonnenstrahlen Vormittags gröſser ist, als Nachmittags, also bei zunehmender Erhebung der Sonne stärker als bei abnehmender. Inzwischen geht dieses Resultat aus den mittleren Resultaten aller im Monat Mai vom 4ten bis 31sten zu Fort Franklin angestellten Messungen nicht sehr evident hervor. Diese geben vielmehr für

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 Uhr | 3°,50 C. | 11 Uhr | 16°,70 C. | 3 Uhr | 13°,15 C. |
| 8 – | 11,32 – | 12 – | 17,10 – | 4 – | 11,71 – |
| 9 – | 13,23 – | 1 – | 16,71 – | 5 – | 9,89 – |
| 10 – | 14,77 – | 2 – | 14,60 – | 6 – | 8,35 – |

worin allerdings 10 Uhr und 9 Uhr ein merkliches Uebergewicht über 2 Uhr und 3 Uhr haben, 8 Uhr aber gegen 4 Uhr zurückbleibt. Wenn nicht anderweitige Bedingungen hinzukommen, so ist wohl ohne Zweifel die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen der Höhe der Sonne und ihrer Erhebung über den Horizont in irgend einem noch nicht genau bestimmten Verhältnisse proportional.

65) Bei der Untersuchung der Wärmeerzeugung durch die Sonnen- und Lichtstrahlen kommt vorzüglich der Unterschied der *farbigen Lichtstrahlen* in Betrachtung. Einer der ersten, welche Versuche hierüber anstellten und die Resultate bekannt machten, war Landriani[1]; dieser fand das Maximum der erwärmenden Kraft in den gelben Strahlen des Spectrums. Nicht lange nach ihm gelangte Rochon[2] durch seine im Sommer 1776 angestellten Versuche zu einem ähnlichen Resultate, dafs nämlich die stärkste Erwärmung zwischen Gelb und Roth an einer Stelle liege, die er bald *orangé*, bald *rouge orangé* nennt. Uebereinstimmend hiermit fand Sennebier[3] aus zahlreichen und oft wiederholten Versuchen, dafs das rothe Licht stets mehr Wärme erzeuge, als das violette, bisweilen aber das gelbe mehr als das rothe. Im Mittel aus allen Versuchen und nach einem zur Bestätigung hervorgehobenen Beispiele sind die gelben Strahlen für die am meisten erwärmenden zu halten. Der ältere Herschel[4] war aber wohl der erste, welcher diese wichtige Entdeckung zum Gegenstande sehr weitläuftiger Untersuchungen machte. Beim Aussuchen verschieden gefärbter, zur Beobachtung der Sonne verwandter Gläser fiel ihm auf, dafs einige derselben weniger Licht, andere mehr Wärme durchliefsen, und er entschlofs sich daher zur Ausmittelung der hierauf bezüglichen Thatsachen durch eine Reihe von Versuchen. Indem er die farbigen Strahlen des Spectrums durch einen Schlitz in einer eigens hierzu verfertigten Vorrichtung fallen liefs, fand er, dafs ein feines Thermometer in den rothen Strahlen binnen 10 Minuten im Mittel um 3°,8, in den grünen um 1°,8 und in den violetten um 1°,1 C. stieg, wonach sich also die erwärmende Kraft derselben nahe wie 3,5 : 1,5 : 1 verhielt. Bei einer folgenden Reihe von Versuchen fand er, dafs

---

1 S. Volta Lettere sull' aria inflammabile nativa delle Paludi. Milano 1777. p. 136. Entlehnt aus Scelta d'Opuscoli interessanti. T. XIII.

2 Recueil de Mémoires sur la Mécanique et Physique. Par. 1783. p. 136.

3 Physicalisch-chemische Abhandlungen über den Einflufs des Sonnenlichts auf alle drei Reiche der Natur. Leipz. 1785. Th. II. S. 37.

4 Philosoph. Trans. 1800. P. II. p. 255 ff. G. VII. 138. Mon. Corr. Th. III. S. 72 u. 553.

die Wärmeerregung durch die Sonnenstrahlen sich über die rothen Strahlen des Spectrums hinaus erstreckte, indem ein Thermometer, welches 0,5 Z. von der Grenze der äufsersten rothen Strahlen abstand, in 10 Min. um 3°,6; bei 1 Z. Abstand um 2°,88 und bei 1,5 Z. Abstand um 1°,75 C. in gleicher Zeit stieg, statt dafs über das Violett des Spectrums hinaus gar kein Einflufs sichtbar wurde. Herschel folgerte hieraus, dafs das Sonnenlicht von Wärmestrahlen begleitet sey, welche eine geringere Brechbarkeit besäfsen, als das Licht. Bei der ungleichen erwärmenden Kraft der farbigen Lichtstrahleu und der schnell ahnehmenden Intensität derselben kommt es sehr darauf an, wo man den Anfang der Messung macht, und hieraus ist erklärlich, dafs Rochon[1] die erwärmende Kraft im Spectrum vom violetten Ende zum rothen hin im Verhältnifs von 1:8 fand. Herschel[2] folgerte aus seinen Versuchen, dafs der durch eine Brennlinse erzeugte Brennpunct der Wärmestrahlen nicht mit dem der Lichtstrahlen zusammenfalle, indem der erste vielmehr um 0,25 Z. weiter als der zweite von einer grofsen Brennlinse abstand, deren Oeffnung durch eine Blendung bis auf 3 Z. gebracht war. Herschel suchte aufserdem den Wärmeverlust auszumitteln, welchen transparente gefärbte und ungefärbte Körper erzeugen, und ich setze einige der erhaltenen Resultate her, obgleich es ihnen an der für die Wissenschaft erforderlichen Schärfe gebricht.

| Substanzen | Wärmeverlust |
|---|---|
| Weifses Flintglas | 0,091 |
| Isländischer Krystall | 0,244 |
| Talk (Glimmer?) | 0,139 |
| dunkelrothes Glas | 0,800 |
| orangefarbenes Glas | 0,604 |
| gelbes Glas | 0,333 |
| dunkelgrünes | 0,849 |
| blafsblaues | 0,812 |
| dunkelblaues | 0,362 |
| indigoblaues | 0,633 |
| purpurfarbiges | 0,583 |

1 Philos. Magaz. T. XIV. p. 408.

2 Philos. Trans. a. a. O. und 1803. p. 464. G. XII. 521.

| Substanzen | Wärmeverlust |
|---|---|
| violettes Glas | 0,489 |
| Quellwasser in Glas | 0,558 |
| Seewasser | 0,682 |
| Weingeist | 0,612 |
| das leere Glas | 0,542 |
| weifses Papier | 0,850 |
| weifse Leinwand | 0,916 |
| schwarzer Mousselin | 0,714. |

66) Die angegebenen Versuche und die daraus abgeleiteten Resultate wurden streng kritisirt durch John Leslie[1], welcher sich schon früher seines *Photometers* zu ähnlichen Versuchen bedient hatte, indem er die Kugeln desselben mit verschiedenen Farben überzog. Hierbei reflectirte Roth fast ebenso viel Licht, als Weifs, Blau aber und demnächst Grün am wenigsten. Bei Wiederholung der Herschel'schen Versuche konnte er inzwischen auch mit den empfindlichsten Apparaten keine Wärmestrahlen aufserhalb der Grenze des rothen Lichtes wahrnehmen, und er glaubte daher, dafs durch die Erwärmung der Fläche, auf welcher Herschel's Thermometer lagen, und die seitwärts reflectirte Wärme die Täuschung hervorgebracht worden sey. Nicht minder findet er die Versuche mit den gefärbten Substanzen durchaus ungenügend, weil sie keine genaue Bestimmung der Farbennüance, der Dicke der Masse, der Menge des durchgelassenen Lichtes und der Intensität der jedesmal angewandten Sonnenstrahlen enthielten. Meikle[2] suchte zu beweisen, dafs bei den Versuchen das Prisma selbst erwärmt worden sey und den Thermometern diese seine Wärme mitgetheilt habe, und auch Prevost[3] unterwarf die durch Herschel gefundenen Resultate einer kritischen Prüfung, indem er sie auf das Newton'sche Gesetz, wonach die Zunahmen und Abnahmen der Wärme in den Körpern eine geometrische Progression bilden, zurückzuführen suchte. Da es aber fraglich ist, ob dieses Gesetz hierbei streng in Anwendung kommen kann, in den Bestimmungen Prevost's aber einige Willkür zu herrschen scheint, so dürfte es nicht zweckgemäfs seyn, diese

---

1 Nicholson's Journ. T. IV. p. 344 u. 416. G. X. 88 u. 359.
2 Philosoph. Magazine. T. LXV. p. 11.
3 Philosoph Trans. 1802. p. 403.

Streitfrage hier ausführlich zu erörtern. Die gegen die Verschluckung der Wärme durch gefärbte Gläser und transparente Körper nach HERSCHEL's Versuchen gemachten Einwendungen verstehn sich gröfstentheils von selbst; beachtenswerth dürfte aber der nicht zur genauen Erörterung gekommene Umstand seyn, dafs nach der Voraussetzung von dunkeln, die Lichtstrahlen begleitenden Wärmestrahlen, wenn sie das Glas nicht ungehindert durchdringen, diese sich im Prisma anhäufen oder beim Auffallen auf das Glas zurückgestofsen worden seyn müfsten, wenn man nicht annehmen will, dafs sie durch das begleitende Licht die Fähigheit, Glas zu durchdringen, erhalten hätten. RITTER[1] ging so weit, dafs er aufser dem Lichtspectrum noch ein Wärmespectrum von geringerer und ein chemisches von gröfserer Brechbarkeit annahm, wonach also aufser der Wärme noch ein chemisches Princip neben den Lichtstrahlen von der Sonne ausströmen müfste, was wohl keiner Widerlegung bedarf. HERSCHEL wurde dagegen vertheidigt durch ENGLEFIELD[2], welcher seine Versuche mit einigen Abänderungen wiederholte. Zu diesem Ende brachte er in einem Fenster ohne Verdunkelung des Zimmers ein gleichseitiges Glasprisma an, fing die einzelnen Farbenstreifen des Spectrums mit einem Schirme auf, in welchem sich ein schmaler Einschnitt befand, welcher nur die eine Farbe durchliefs, concentrirte diese durch eine Glaslinse, und liefs den Focus der letztern auf eine Scheibe von Kartenpapier fallen, in welchen er dann die meistens geschwärzte Kugel eines empfindlichen Thermometers hielt. Die gesammte Vorrichtung war auf eine solche Weise hergestellt, dafs jeder sonstige Einflufs, ausgenommen der des absichtlich gebildeten Focus, vermieden wurde. Beim ersten Versuche stieg das Thermometer mit geschwärzter Kugel

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| im blauen Lichte | binnen | 3 | Min. | um | 0°,55 | C. |
| — grünen | — | 3 | — | — | 2,22 | — |
| — gelben — | — | 3 | — | — | 3,33 | — |
| — rothen — | — | 2,5 | — | — | 8,88 | — |
| Grenze d. rothen — | — | 2,5 | — | — | 8,60 | — |
| aufserhalb d. rothen — | — | 2,5 | — | — | 10,00 | — |

1 G. XII. 409 Gehlen's Journ. Th. VI. S. 667.

2 Journal of the Royal Institution. T. I. 1802. p. 202. G. XII. 399. Biblioth. Brit. T. XXII. p. 113.

und kehrte nach den Versuchen auf seinen ursprünglichen Stand wieder zurück. Bei einer zweiten Versuchsreihe stieg das Thermometer mit geschwärzter Kugel

im rothen Lichte . . . . . . . . um 1°,66 C.
ausserhalb des rothen Lichtes . . . – 2,77 –

das Thermometer mit weiss gefärbter Kugel

im rothen Lichte um . . . . 1°,66 C.
im vollen Dunkel um . . . . 0,27 –

Bei einem dritten Versuche stieg das geschwärzte Thermometer bei vollem Sonnenscheine an der Grenze des Roth in 3 Minuten um 6°,66 C., das weiss gefärbte um 1°,66. Bei einem vierten Versuche, als gleichfalls die Sonne sehr hell schien, stiegen während 3 Min. das geschwärzte Thermometer im vollen Roth um 8°,88, das weiss gefärbte um 1°,93; im vollen Dunkel 1,5 Zoll vom Roth das geschwärzte um 5°,55, fiel auch sogleich, wenn es in das rothe Licht gebracht wurde, und stieg wieder, wenn es über die Grenze desselben hinauskam. Selbst wenn die rothen Strahlen neben den Einschnitt im Schirme fielen und sich nur ein schwacher rother Schimmer im Focus der Linse bildete, stieg dennoch das geschwärzte Thermometer ausserhalb des Focus um 5°,75 C.

67) Schon vor Herschel's Versuchen bemühete sich Boeckmann [1], den Einfluss der Farben auf die Erzeugung der Wärme durch die Sonnenstrahlen auszumitteln, überzog zu diesem Ende die Kugeln empfindlicher Thermometer mit verschiedenfarbigem Taffent und setzte sie so bekleidet dem Sonnenlichte aus. Hierbei zeigte das unbekleidete Thermometer 29°,37 C., dagegen das mit himmelblauem Taffent . 31°,70

| | |
|---|---|
| dagegen das mit himmelblauem Taffent | 31°,70 |
| — — — schwefelgelbem | 30,31 |
| — — — hellgrünem | 32,50 |
| — — — apfelgrünem | 32,80 |
| — — — rosenrothem | 31,25 |
| — — — weissem | 30,31 |
| — — — schwarzem | 34,05 |

Bei einer spätern Reihe mit grosser Sorgfalt und sehr geeigneten Apparaten angestellter, vielfach modificirter Versuche war es ihm unmöglich, ausserhalb des Spectrums die geringste Er–

---

1 G. X. 359. Vergl. dessen Versuche über d. Erwärmung verschiedener Körper durch d. Sonnenstrahlen. Karls. 1811. 8. Vorr.

wärmung wahrzunehmen[1]. Aus vielen mit Umsicht angestellten und gewiſs nicht verwerflichen Versuchen, wobei nicht bloſs massive Prismen von verschiedenem Glase, sondern auch solche angewandt wurden, die mit Flüssigkeiten gefüllt waren, hat Wünsch[2] nachfolgende Sätze entnommen. Weder über, noch unter dem Farbenspectrum und seinen Schweifen konnte irgend eine Erwärmung wahrgenommen werden. Hier wird von den Schweifen des Spectrums geredet und richtig bemerkt, daſs die Spectra keineswegs scharf begrenzt sind, sondern über die deutlich sichtbaren Grenzen minder sichtbar hinausgehen, was auch aus der Beugung der Lichtstrahlen nothwendig folgt. Die Stärke der Erwärmung im Spectrum richtete sich nicht nach der Intensität der Erleuchtung, denn namentlich war das blaue Licht sehr hell, erwärmte aber nächst dem violetten Lichte am wenigsten. Sehr wichtig aber ist ein von Wünsch zuerst beachteter Unterschied, welcher auf der Substanz des Prisma's beruht. So gaben Prismen mit Alkohol, Terpentinspiritus und Wasser gefüllt die stärkste Erwärmung im gelben Lichte, das grünliche Glasprisma im vollen Roth, das gelbliche im farbenlosen Schweife an der Grenze das Roth; der Schweif des letzteren leuchtete aber auch stärker, als der des grünen, und dieser stärker, als bei den Prismen mit Flüssigkeiten. Ein ganz farbenloses Prisma gab noch weit hellere farbenlose Schweife, als das gelbliche, und in dem Schweife von jenem war die Erwärmung weit stärker, als in dem von diesem. Alle Prismen endlich, wenn sie vermittelst der Sammlungslinse ein weiſses, an der einen Seite mit einem rothen und gelben, an der andern mit einem blauen und violetten Saume eingefaſstes Bild gaben, erregten ganz nahe am rothen Saume, jedoch auſserhalb desselben, allezeit die schwächste Erwärmung; stärker war diese im rothen Saume selbst, noch stärker im gelben und am stärksten im weiſsen Focus.

Daſs Ritter[3] die eben erwähnten Versuche und die daraus entnommenen Resultate sehr heftig bestritt, möge hier nur beiläufig erwähnt werden, da die Thatsachen zu genau und ausführlich angegeben sind, als daſs man sie mit Zweifelsgrün-

---

1 G. XXXIX. 289.

2 Gehlen's Journ. für d. Chemie, Physik und Mineralogie. Th. VI. S. 597. Magazin der ges. naturf. Freunde. Th. I. p. 185.

3 Gehlen's Journal a. a. O. S. 633.

den vernichten könnte. Zudem wissen wir gegenwärtig, daſs Wünsch allerdings auf dem richtigen Wege war, obgleich es ihm nicht gelang, die Aufgabe vollständig zu lösen. Aus den angegebenen Versuchen, woraus die ungleiche Wirkung verschiedenartiger Prismen dargethan ist, läſst sich auch erklären, daſs Leslie die gröſste erwärmende Kraft in der Mitte des Spectrums fand, was aber durch Berzelius[1] bestritten wird. Auch dieser streitige Punct wird durch die nachfolgenden Erörterungen Aufklärung finden.

68) Einen wichtigen Beitrag zur Beantwortung der vielfach ventilirten Frage hat Berard[2] geliefert, dessen Versuche um so viel bedeutender sind, weil er sich bei denselben eines Heliostats bediente, durch welchen die Sonnenstrahlen eine beliebig lange Zeit unverrückt auf die Thermometerkugeln fielen. Uebereinstimmend mit Herschel fand er die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen vom Violett an zunehmend, das Maximum aber im Rande des sichtbaren Spectrums da, wo die Thermometerkugel noch ganz mit sichtbaren rothen Strahlen bedeckt war; von hier an nahm die Temperatur stets ab, je weiter die Kugel in die Dunkelheit kam, und als sie sich auſserhalb des sichtbaren Spectrums befand, wohin Herschel das Maximum setzt, stieg das Thermometer um den fünften Theil so hoch über die Umgebung, als in dem äuſsersten Roth. Wollte man hieraus einen unumstöſslichen Beweis für die Anwesenheit von Wärmestrahlen auſserhalb des Spectrums hernehmen, so scheint mir dieses zu voreilig, denn es ist nicht wohl bestimmbar, wo das allmälig abnehmende Spectrum ganz aufhört, aus dem leicht begreiflichen Grunde, weil das Auge unter dem unvermeidlichen Einflusse des helleren Lichtes das minder helle nicht wahrnimmt und daher über die Grenze der gänzlichen Abwesenheit des Lichtes kein zuverlässiges Zeugniſs ablegen kann. Schon hierdurch könnte man die Hauptfrage, nämlich über unsichtbare, im Spectrum vorhandene Wärmestrahlen, für erledigt halten, allein wir besitzen über dieses Problem auſser dem, was neuerdings durch Melloni zur definitiven Erledigung der Frage geschehn ist, noch eine vorzügliche Arbeit, welche jetzt näher gewürdigt werden muſs.

---

1 Jahresbericht. 1828. Th. VI. S. 12.
2 G. XLVI. 381.

69) Seebeck[1] unternahm in den Jahren 1806 bis 1808 eine lange Reihe von Versuchen, um die so oft ventilirte Aufgabe zur endlichen Entscheidung zu bringen. Die bis dahin erhaltenen widersprechenden Resultate führten zu der Vermuthung, daſs manche Nebenbedingungen nicht gehörig gewürdigt seyn möchten, was auch schon aus den durch Wünsch erhaltenen Erfahrungen mit gröſster Wahrscheinlichkeit hervorging. Seebeck hatte besonders mit den Hindernissen zu kämpfen, die aus dem so leicht veränderten Zustande der Atmosphäre hervorgehn, und konnte diese nicht anders, als durch sehr häufige Wiederholung der Versuche beseitigen. Meistens fiel das Licht durch ein Prisma in ein verfinstertes Zimmer, der erforderliche Theil des Farbenbildes durch einen Einschnitt in einem Schirme, und zum Messen diente ein empfindliches Luftthermometer mit geschwärzter Kugel, welches nach jedem Versuche ausgeleert und für einen folgenden aufs Neue gefüllt wurde. Um bessere Uebereinstimmung mit den Resultaten früherer Versuche zu erhalten, nimmt er, wie gewöhnlich, sieben kenntlich unterscheidbare Farben im Spectrum an und setzt die Grenze des Roth dahin, wo dieses dem Auge noch deutlich erkennbar ist und sich in einen schmäleren schwächer gefärbten rothen Saum verliert. Aus einer sehr groſsen Menge mit lobenswerther Umsicht angestellter und unter sich sehr genau übereinstimmender Versuche gehn folgende Hauptresultate hervor.

1) In allen Farben des Spectrums findet Wärmeerregung statt und diese ist jederzeit am schwächsten an der Grenze des Violett.

2) Von hier an nimmt sie zu, wenn man durch Blau und Grün zum Gelb fortschreitet, und

3) erreicht bei einigen Prismen ihr Maximum im Gelb, namentlich beim *Wasserprisma.*

4) Einige andere Flüssigkeiten, namentlich eine ganz kurze klare Auflösung von Salmiak und Quecksilbersublimat, desgleichen farblose concentrirte Schwefelsäure, geben das Maximum in der Mitte zwischen Gelb und Roth, also im Orange.

5) Prismen von gewöhnlichem weiſsem Glase haben die gröſste Wärme im vollen Roth.

---

1 Berliner Denkschriften. 1818 u. 1819. S. 305. Edinburgh Journ. of Sc. N. II. p. 358. Schweigger's Journ. Th. XL. S. 129.

6) Manche Prismen von gewöhnlichem, jedoch schon bleihaltig scheinendem, Glase geben das Maximum der Wärme in der Grenze des Roth,

7) Prismen von Flintglas dagegen jenseit des Roth, wenn die Kugel des Thermoskops sich aufserhalb des wohlbegrenzten Farbenbildes befindet.

8) Die Wärme nimmt jenseit des Roth stetig ab, aber bei allen Prismen findet noch einige Zoll über die Grenze des Roth hinaus Wärmeerregung statt.

Ohne Zweifel haben Herschel, Leslie und Englefield mit Flintglasprismen experimentirt, und aufserdem haben Rochon, Wünsch und Englefield Glaslinsen angewandt, um das Licht mehr zu concentriren, die aber einen bedingenden Einflufs haben mufsten, um so mehr, da sie nicht achromatisch waren.

Um die Aufgabe noch weiter zu verfolgen, stellte Seebeck Versuche mit einem Prisma von hellem weifsem Glase an, dessen zwei Flächen mattgeschliffen waren, wovon die eine Seite aber durchscheinend genug war, um mit der polirten ein hinlänglich helles Spectrum zu erzeugen. Bei diesem fiel das Maximum der Wärme ebenso entschieden aufserhalb des vollen Roth, als es bei allen andern innerhalb desselben lag. Wurde die matte Fläche des Prisma mit Weingeist überstrichen, so kam ein lebhafteres Farbenbild zum Vorschein, dessen Grenze bei 6 Fufs Abstand um etwa 2 Par. Zoll tiefer herabging, als bei dem mit matter Fläche, wodurch also die Grenze des Roth, welche hierbei die gröfste Wärme gab, an die Stelle des vollen Roth bei polirten Prismen, also dahin gerückt wurde, wo letztere das Maximum gaben, so weit sich dieses ohne eigentliche genauere Messung bestimmen liefs. Als Hauptresultat entnimmt Seebeck aus allen Versuchen, dafs das Farbenbild nicht scharf begrenzt ist, sondern dafs sich das Licht desselben noch weiter hin erstreckt, mindestens bis dahin, wo die gröfste Wärmeerregung statt findet, wenn es daselbst auch vom Auge minder stark empfunden wird. Unsichtbare, auf das Auge gar nicht wirkende, aber doch erwärmende Strahlen sind hiernach ebenso wenig denkbar, als solche, welche chemische Veränderungen erzeugen. Die Scheine oder Schweife, wie Wünsch sie nennt, sind zweierlei Art; einige rühren von Streifen und Wellen in den Prismen oder von unregelmäfsiger Zerstreuung des Lichts

an ihren Kanten her, und solche Prismen müssen verworfen oder am Rande mit einer Blendung versehen werden. Aber auch bei guten Prismen fehlen diese Scheine nicht und sie sind unter dem Roth blaſsröthlich, wie über dem Violett blaſsviolett. Diese hätte also Herschel übersehn, und indem er die daselbst vorhandenen Wärmestrahlen durch Linsen zu concentriren glaubte, müſste er vielmehr die Lichtstrahlen condensirt haben. Wenn er hierbei kein Licht wahrnahm, so kann die Ursache darin liegen, daſs es für sein anderweitig gereiztes Auge zu schwach war und obendrein von der geschwärzten Kugel zu wenig reflectirt wurde. Versuche mit gefärbten Gläsern oder Zeugen sind allezeit miſslich, weil zu viele Nebenbedingungen dabei ins Spiel kommen. Man sieht hieraus, daſs Seebeck sich sträubte, bloſs wärmende Strahlen in und neben dem Spectrum anzunehmen, was auch nicht wohl anders, als in Folge unzweideutiger Thatsachen geschehn kann.

70) Nur beiläufig angestellte Versuche über dieses Problem führten auch Ruhland[1] zu dem bereits bekannten Resultate, daſs der Ort, wo durch das Farbenbild die gröſste Wärme erregt wird, veränderlich sey; bei einigen Glasprismen und bei einem Prisma aus Borax habe er dasselbe über das Roth hinausfallend, bei andern im Roth und bei noch andern, mit Flüssigkeiten gefüllten, im Gelb gefunden. Inwiefern aber diese Thatsachen mit den von Wünsch und Seebeck aufgefundenen mehr oder weniger übereinstimmen, kann nicht genau ermittelt werden, da seine Versuche hierzu nicht vollständig genug beschrieben worden sind. Von untergeordnetem Werthe sind auch die Versuche von Baden Powell[2], welcher das Sonnenlicht gleichzeitig auf zwei Thermometerkugeln fallen lieſs, deren eine weiſs, die andere schwarz angestrichen war, und dabei die erregte Wärme gröſser in der schwarzen, als in der weiſsen fand, aber keinen meſsbaren Unterschied wahrnahm, wenn diese Sonnenstrahlen zuvor durch ein dickeres oder dünneres klares Glas fielen.

71) Uebereinstimmend mit den von Wünsch, Seebeck und

---

1 Ueber die polarische Wirkung des gefärbten heterogenen Lichtes. Berl. 1817. S. 50.

2 Annals of Philosophy. 1824. T. VII. p. 324. 401. T. VIII. p. 81. 287.

Ruhland gefundenen Resultaten, aber ungleich tiefer und genauer in die Sache eingehend, sind diejenigen, welche Melloni erhalten hat, deren vollständigere Erörterung bei der Untersuchung des Durchleitungsvermögens der verschiedenen Körper für Wärme (§. 310) eine geeignetere Stelle finden wird. Inzwischen geht aus ihnen im Allgemeinen hervor, dafs die Wärme in den farbigen Strahlen des Spectrums an irgend einer Stelle ein Maximum hat und von hier aus nach beiden Seiten abnimmt; der Ort dieses Maximums wird bedingt durch die Substanz, woraus das Prisma verfertigt ist, sofern diese nicht blofs stärker oder schwächer lichtbrechend wirkt, sondern zugleich auch die mit den Lichtstrahlen verbundenen Wärmestrahlen mehr oder weniger beim Durchgehn zurückhält, wie sich hauptsächlich daraus ergiebt, dafs die farbigen Lichtstrahlen, wenn man sie durch transparente Medien mit parallelen Flächen fallen läfst, durch letztere einen ungleichen Wärmeverlust erleiden. So weit seine Versuche hierher gehören, bemerken wir nur, dafs es in jedem Spectrum vom Maximum ausgehend nach beiden Seiten hin *isotherme Zonen* geben mufs, deren Lage durch Verrückung des Maximums gleichfalls eine Aenderung erleidet und daher bei Prismen aus verschiedenen transparenten Substanzen verschieden ist. Werden also zu beiden Seiten der Farbe, worein das Maximum fällt und welche in der Regel die rothe ist, sechs isotherme Zonen angenommen, so giebt im Kronglasspectrum[1]

Violett die schwächste Temperatur,
Indigo }
Blau } die Temperatur steigend,
Grün }
Gelb }
Orange } Temperatur gleichfalls steigend,
Roth . . Wärmemaximum.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Erste | dunkle Zone | . . . | Isotherme des | Orange |
| Zweite | — — | . . . | — — | Gelb |
| Dritte | — — | . . . | — — | Grün |
| Vierte | — — | . . . | — — | Blau |
| Fünfte | — — | . . . | — — | Indigo |
| Sechste | — — | . . . | — — | Violett. |

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 385. Poggendorff's Ann. XXIV. 648.

Nach späteren Versuchen desselben [1] mit einem Steinsalzprisma wächst die Temperatur im Spectrum vom Violett zum Roth und selbst über dieses hinaus bis zu einem Abstande, welcher der Entfernung des Roth vom Gelb fast gleichkommt. Nähere Aufklärung über die Ursache dieser Verschiedenheiten gaben ihm folgende Erscheinungen [2]. Ein mit Wasser gefülltes Prisma wurde durch eine Kupferplatte so weit bedeckt, daſs nur etwa 2 Lin. des brechenden Winkels frei blieben, und dann lag das Maximum der Wärme im Orange zur Seite des Roth. Als er darauf die Kupferplatte so verschob, daſs nur etwa 2 Lin. über der Basis des Prisma's frei blieben, lag das Maximum im Gelb zur Seite des Grün. Auf gleiche Weise vermochte er bei einem gewöhnlichen Glasprisma das Maximum in den dunklen Raum oder in das Roth zu versetzen, je nachdem er die Strahlen durch eine Zone an der Kante des brechenden Winkels oder in der Nähe der Basis durchfallen lieſs. Es scheint ihm hiernach, als ob ein Theil der Wärmestrahlen durch die wachsende Dicke der Masse des Prisma's zunehmend verschluckt werde, und da das Steinsalz letztere Eigenschaft nicht hat, so ist ein hieraus verfertigtes Prisma als ein normales zu betrachten. Als Melloni daher die durch dieses gebrochenen Strahlen durch zwei Wasserschichten und zwei Glasplatten von der Dicke der Zone in den angewandten Prismen fallen lieſs, gelang es ihm, das Maximum der Wärme successiv in das Orange und Gelb, so wie in das Roth oder in die äuſserste Grenze desselben zu versetzen. Läſst man das ganze Spectrum durch eine 2 bis 3 Millim. dicke, zwischen Glasplatten eingeschlossene Wasserschicht fallen, so findet man das Maximum der Temperatur und die letzte dunkle Grenze näher zum Roth hingerückt, was sich noch deutlicher zeigt, wenn die Wasserschicht dicker wird, denn bei einer 4 Millim. dicken fällt das Maximum schon in das Roth, und vermehrt man die Dicke noch weiter, so rückt das Maximum in derselben Richtung fort und geht successive ins Orange und Gelb, so daſs es ins Grün zu liegen kommt, wenn die Dicke der Wasserschicht 300 Millim. beträgt. Hiermit übereinstimmend rückt auch die

---

1 Annales de Chim. et Phys. T. LIX. p. 418. Poggendorff's Ann. XXXVII. 486.

2 Aus L'Institut N. 84. p. 410 in Poggendorff's Ann. XXXV. 561.

Grenze, wo gar keine Wärme mehr entwickelt wird, stets weiter vor. Aehnliche, aber geringere Wirkungen bringt eine eingeschobene Glasplatte hervor. Wendet man statt der farblosen Glasscheibe ein blaues Kobaltglas an, so verschwindet das Orange, ein großser Theil des Grün, etwas vom Blau, so wie die Mitte vom Roth, und das Spectrum besteht aus einer Reihe ungleich breiter und ungleich leuchtender, mit dunklen Streifen wechselnder Zonen. Ein schön violettes Glas macht in der Regel das Gelb und Orange verschwinden, so dafs auf der einen Seite nur Roth, auf der andern Blau und Indigofarbe bleibt; ein rothes Glas läfst nur die rothen Strahlen durch. Unter allen diesen Modificationen behält das Maximum der Wärme beständig eine fast gleiche Lage, und zu beiden Seiten desselben nimmt die Temperatur in den successiven Zonen mit der gröfsten Regelmäfsigkeit ab, die Wärmeerregung wächst also, der verschiedenen Modificationen des Lichts unbeschadet, vom Violett zunehmend bis zum Roth.

72) Hiermit sind die Thatsachen genügend festgestellt, allein die bei weitem schwierigere Aufgabe ist, eine den Erscheinungen angemessene Theorie hierüber aufzustellen. Um die verschiedenen zur Erklärung aufgestellten Meinungen übersichtlicher zu machen, wollen wir dieselben unter drei Abtheilungen bringen, je nachdem sie der einen oder der andern von diesen wesentlichen angehören, obgleich es schwer ist, sie gehörig von einander zu sondern.

a) Einige nehmen an, die Lichtstrahlen seyen von eigenthümlichen Wärmestrahlen begleitet. Anhänger dieser Ansicht sind, oder waren vielmehr, alle diejenigen, welche nach Newton's Hypothese das Licht von der Sonne ausgehn, den Raum durchlaufen und auf die Erde fallen liefsen. Wir können im Allgemeinen annehmen, dafs alle ältern Physiker sich zu dieser Meinung bekannten, die auf jeden Fall die einfachste ist. Ein Anhänger dieser Hypothese ist auch Herschel, sofern er den Wärmestrahlen im Spectrum eine geringere Brechbarkeit, als den Lichtstrahlen beilegt, und aus dieser ihrer geringeren Brechbarkeit würde es dann erklärlich seyn, warum die gröfste Erwärmung im Roth oder selbst jenseit desselben wahrgenommen wird. Nicht minder nimmt auch Leslie[1] solche eigenthümliche, das Licht begleitende Wärme-

1 Edinburgh Phil. Trans. T. VIII. Abth. XXI.

strahlen an, da er nach seinen Versuchen mit dem Aethrioskop, wovon sogleich die Rede seyn wird, vom Himmel herabkommende Kältestrahlen wahrgenommen haben will; im Ganzen aber ist seine Meinung über das Wesen der Wärme hiermit nicht im Einklange. Baden Powell[1] concentrirte die Farben des Spectrums durch eine Linse, und fand Wärmestrahlen aufserhalb der Grenze des rothen Lichtes. Nach seiner Ansicht kann man hiernach allerdings eigenthümliche Wärmestrahlen annehmen, er trägt jedoch Bedenken, dieser Hypothese beizupflichten, da die Wärme auf jeden Fall durch die Lichtstrahlen erzeugt worden sey und daher die letzteren diese Fähigkeit der Wärmeerzeugung noch haben könnten, ohne wegen ihrer geringen Intensität das Auge zu afficiren.

Es ist schwer, die Meinungen der Physiker über diese Frage genau zu ermitteln, denn sie reden meistens von einem für sich bestehenden Wärmestoffe, zugleich aber von einer genauen Verbindung zwischen Licht und Wärme, und stellen oft eine Sonderung der Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen im Spectrum nicht eigentlich in Abrede, ohne sich jedoch über den Unterschied beider und die eigenthümliche Art, wie Wärme durch die Lichtstrahlen der Sonne erzeugt wird, bestimmt und so auszudrücken, dafs eine eigentliche kritische Beurtheilung ihrer Meinung dadurch möglich würde. Die Ursache hiervon liegt zum Theil in der Unbestimmtheit eines unendlich oft gebrauchten Wortes, der sogenannten Strahlung, ohne dafs man jedoch den Begriff, welcher hiermit verbunden werden soll, deutlich angegeben findet. Erregen die Lichtstrahlen Wärme, so nennt man dieses *Wärmestrahlung* und das Product *strahlende Wärme*, ohne deren Wesen näher anzugeben, als dafs sie mit dem Lichte verbunden ist, was übrigens durch die Erscheinung selbst gegeben wird und daher nur als eine Angabe der Thatsache, aber nicht als eine Erklärung derselben gelten kann. So redet Leslie[2] viel von strahlender Wärme, nimmt sogar auch *Kältestrahlen* an, stellt aufserdem die Erzeugung der Wärme durch Sonnenlicht keineswegs in Abrede, ohne jedoch in die Aetiologie des letzteren Processes tiefer ein-

---

1 Annals of Philos. T. VIII. p. 81. 288 ff.
2 Inquiry into the Nature of Heat. Edinb. 1804. 8.

zugehn[1]. Beispielsweise führe ich nur Einiges an. So sagt H. Davy[2]: „Es ergiebt sich, daſs die von der Sonne in Be- „wegung gesetzte Materie das Vermögen besitze, Wärme ohne „Licht zu erregen, und daſs die Wärmestrahlen weniger brech- „bar sind, als die Lichtstrahlen. Einige Naturforscher schlossen „hieraus, daſs alle Strahlen, welche im Sonnenlichte Wärme „erregen, von denen verschieden sind, durch welche die Em- „pfindung des Lichts hervorgebracht wird; allein dann würden „sie wahrscheinlich durch das Prisma ebenso von den farbigen „Strahlen abgesondert werden, als dieses die letzteren scheidet.“ Selbst Herschel d. J. in seiner classischen Bearbeitung der Wär- melehre[3] sagt: „es geht klar aus den (eben erwähnten) Ver- „suchen hervor, sofern die erwärmenden Strahlen von den er- „leuchtenden getrennt werden, daſs beide einer Ablenkung von „ihrer Bahn unterworfen sind, und da sich die erwärmenden „über eine gröſsere Fläche, als die erleuchtenden verbreiten, „so muſs ein Wärmestrahl (beam of radiant caloric) aus „Strahlen von verschiedener Brechbarkeit bestehn, auch muſs „die Brechbarkeit der letztern eine gröſsere Ausdehnung haben, „als die der erstern.“ Allein hiermit ist das eigentliche We- sen dieser Strahlen, und auf welche bestimmte Weise sie durch die Sonne erregt werden, zwar keineswegs genügend angege- ben, es geht jedoch aus der hier wörtlich mitgetheilten Aeuſse- rung evident hervor, daſs in den von der Sonne aus- gehenden, durch das Prisma aufgefangenen Sonnenstrahlen zwei von einander verschiedene Strahlen, leuchtende und erwär- mende, vereint sind, die nach der Brechung als getrennt er- scheinen. Noch unzweideutiger äuſsert sich Melloni[4] hier- über. Aus einer langen Reihe von Versuchen fand er, daſs in den durch ein Prisma von Steinsalz gehenden Sonnenstrahlen das Maximum der Temperatur nicht stets an der nämlichen Stelle in dem dunklen Raume vorhanden ist, welcher über die

---

1 Beiläufig möge hier bemerkt werden, daſs ich die *Wärme- strahlung* keineswegs in Abrede stelle. Die Wärme strahlt allerdings, aber als Wärme und nach eigenthümlichen Gesetzen, wie später zu erörtern ist.

2 Beiträge zur Erweiterung des chemischen Theils der Natur- lehre. S. 177.

3 Heat. In Encyclopaedia metrop. p. 291.

4 L'Institut. 1840. N. 315. p. 10.

Grenze des Roth hinausgeht, sondern sich bald mehr bald weniger von den Farben entfernt, wenn auch die Bedingungen, als die Stärke der Strahlung und die Durchsichtigkeit der Atmosphäre, dieselben sind. Hieraus schliefst er, „dafs die „des Lichts beraubten Wärmestrahlen (*rayons calorifiques* „*dénués de lumière*) in gröfserer oder geringerer Quanti- „tät zu uns gelangen, je nach dem Zustande gewisser atmo- „sphärischer Beschaffenheiten, welche keinen Einflufs auf die „Durchlassung der leuchtenden Strahlen ausüben.“ Ein ähnliches Verhalten der chemischen Wirkungen[1] glaubt er auch aus DAGUERRE's Versuchen folgern zu dürfen. Es ist für die Untersuchung des vorliegenden Problems von gröfster Wichtigkeit, zuvor den Beweis festzustellen, dafs die Physiker von Wärmestrahlen reden, die keine Lichtstrahlen, sondern eigentliche Wärmestrahlen sind, von der Sonne ausgehen und auf jeden Fall die atmosphärische Luft durchdringen, ehe sie auf das Prima fallen.

73) Die ältere Hypothese, wonach Wärmetheilchen, so wie Lichttheilchen, von der Sonne ausgesandt auf die Erde fallen und daselbst von den Körpern aufgenommen werden, läfst sich allenfalls gegen die zu machenden Einwürfe vertheidigen, wenn man das schlechte Hülfsmittel anzuwenden sich nicht scheuet, wankende Hypothesen stets durch neue, noch minder feste, zu unterstützen. Hiernach müfste angenommen werden, dafs nach einem unbekannten Gesetze gerade so viel des höchst elastischen Lichtstoffes aus der Sonne stets ausströmte, um in der unbegrenzten Sphäre das erforderliche Licht zu verbreiten, und dafs gleichzeitig und in Begleitung des Lichtes das gegebene Wärmequantum gleichfalls ausströmte. Letzteres müfste dann genau die nämliche Geschwindigkeit haben, als das Licht, da die Wärme dem Lichte weder vorauseilt, noch hinter demselben zurückbleibt. Ist eine solche absolute Gleichheit der Bewegung zweier, sich anderweitig sehr verschieden äufsernder, Stoffe schon an sich sehr unnatürlich, so läfst sich noch weniger darüber entscheiden, ob bei diesem Processe das Licht die Wärme oder die Wärme das Licht mit sich fortreifst. Fer-

1 Il y a une très grande analogie entre ce phénomène et celui observé par M. Daguerre relativement à l'action diverse des radiations chimiques correspondantes à des hauteurs égales du Soleil au dessus de l'horizon.

ner müfste sich hiernach die Wärme auf unserer Erde gegen die Erfahrung auf eine unglaubliche Weise anhäufen, eine Folgerung, die man durch die Annahme beseitigen könnte, dafs sie wieder zurückkehre, allein diese an sich wieder unbegründete Hypothese giebt die Kraft nicht an, durch welche die Wärme von der Erde getrieben würde, nachdem das sie der Erde zuführende Vehikel, das Licht, auf eine gleichfalls unbegreifliche Weise verschwunden ist. Inzwischen ist es jetzt kaum noch der Mühe werth, die gänzliche Unhaltbarkeit der vorliegenden Hypothese ausführlich darzuthun, da die Undulationstheorie des Lichtes allgemeinen Eingang gefunden hat.

Wenn die Anhänger dieser letzteren Theorie fortfahren, von eigenthümlichen Wärmestrahlen im Lichte zu reden, so ist dieses wohl für nichts weiter zu halten, als für eine Bezeichnung der einfachen Thatsache, dafs durch das Licht Wärme erzeugt wird und das leuchtende Bild der Sonne zugleich erwärmend wirkt; denn eine genauere Analyse der Aetiologie dieses Processes führt zu noch gröfseren Widersprüchen und Ungereimtheiten. Besteht das Licht aus den Undulationen des Lichtäthers, so ist dieser Aether überall verbreitet; seine (leuchtenden) Vibrationen bestehen blofs aus Verdichtungen und Verdünnungen, welche ebenso wenig als die Schallwellen irgend einen Körper mit sich fortzuführen vermögen, um so weniger aber mit der enormen Geschwindigkeit von 40000 Meilen in einer Secunde. Ein solches Fortreifsen einer materiellen Substanz von der Sonne aus bis zur Erde durch die Undulationen des Lichtäthers ist in der That allen in der Natur vorhandenen mechanischen Gesetzen so durchaus entgegen, dafs es zur Widerlegung nichts weiter bedarf, als nur darauf aufmerksam zu machen, da ein jeder, sobald er sich nur bemühet, das Problem auf klare Begriffe zurückzuführen, von dem inneren Widerspruche überzeugt werden wird. Wollte man, was jetzt wohl kaum noch durch einen gründlichen Physiker geschehn dürfte, die Wärme als blofse Kraft betrachten, so hätte es noch weniger Sinn, wenn eine Kraft, die dem Begriffe nach Bewegung oder Wirkung erzeugt, durch eine andere Bewegung an denjenigen Ort versetzt werden soll, wo sie sich wirksam zeigt[1].

---

1 Die Hypothese, dafs die Wärme selbst blofs in Bewegung bestehe, bleibt hier ausgeschlossen. Hiernach müfste die Wärmebewe-

Man ersieht also sehr bald, daſs diese Theorie, welcher Hypothese vom Lichte man sie auch anpassen möge, zu allzuvielen und allzugrellen Widersprüchen führt, als daſs man sie noch weiter beibehalten könnte.

74) b) Nach einer zweiten, ungleich gangbareren Hypothese soll Wärme mit Licht dem Wesen nach identisch seyn. Zur Prüfung jeder Hypothese wird unumgänglich erfordert, daſs sie genau und scharf bestimmt sey; leider aber ist dieses nicht stets der Fall, und namentlich bei der Bestimmung des Wesens der Wärme wird oft bloſs gesagt, daſs Wärme und Licht einander gleich seyen, obwohl dieses nichts weiter heiſsen soll, als daſs die Phänomene beider innig mit einander verbunden sind. Wird im Allgemeinen Gleichheit des Lichts und der Wärme angenommen, so kann dieses auf eine dreifache Weise verstanden werden: zuerst daſs beide Potenzen einander durchaus und vollkommen gleich sind, oder zweitens, daſs die Erscheinungen beider von einem und demselben Stoffe herrühren, welcher jedoch auf verschiedene Weise modificirt seyn müſste, oder drittens, daſs der eine Stoff in den andern übergeht, also zunächst wohl Licht in Wärme verwandelt wird. Wir wollen diese drei Ansichten, sofern sie sich in den Aeuſserungen der einzelnen Gelehrten gesondert finden, näher beleuchten.

75) Die Aeuſserungen der älteren Physiker, welche eine innige Verwandtschaft der Wärme mit dem Lichte annahmen[1], sind meistens zu unbestimmt, als daſs man genau unterscheiden könnte, zu welcher der drei Ansichten sie sich hinneigen, da im Allgemeinen nur von einer Verwandtschaft beider geredet wird. Bei einer genaueren Uebersicht der vielfachsten und allgemein bekannten Thatsachen konnte man aber weder ehemals, noch viel weniger jetzt die Ueberzeugung einer völligen Gleichheit beider festhalten. Hiergegen streitet unter andern das gesammte Verhalten der dunklen Wärme, die nach Voraussetzung der Identität zugleich Licht seyn müſste, ohne zu leuchten. Man könnte sagen, die dunkle Wärme habe nicht genug Inten-

---

gung durch die Lichtbewegung (Wellen) erst in den Körpern entstehn, könnte aber nicht von der Sonne aus herbeigeführt werden. Bloſs von dieser Herbeiführung der Wärme von der Sonne vermittelst der Undulationen des Lichtäthers ist hier vorläufig die Rede.

1 Man findet diese sehr vollständig angegeben in Halleri Elementa Phys. T. V. p. 444. ed. 4.

sität, sey ein Licht von zu geringer Stärke, als dafs es vom Auge empfunden werde, wie denn auch ein stärker glühender Körper mehr Licht verbreite, als ein minder stark glühender; allein dann müfste ein beleuchteter Körper stets genau so warm seyn, als ihn die Erhitzung bis zu dem jedesmal beobachteten Helligkeitsgrade zu bringen vermöchte, und namentlich müfste Leuchtholz die Wärme schwacher Glühhitze haben. Nehmen wir die chemischen Eigenschaften des Lichtes hinzu[1], welche durch Wärme nicht erzeugt werden, und die Veränderungen der Körper durch Wärme, die das Licht hervorzubringen nicht vermag, so kann von einer absoluten Identität nicht wohl die Rede seyn.

Untersucht man die Aeufserungen der Physiker etwas genauer, so überzeugt man sich bald, dafs sie sich über die beiden andern Arten der Vorstellung keineswegs bestimmt ausdrücken[2]. Ist die Rede vom Uebergange der Wärme aus einem Körper in einen andern, von der specifischen und latenten Wärme, von den Wirkungen der Wärme, wie sich diese durch die Ausdehnung, Flüssigmachung und Gasification äufsern, so ist unverkennbar von einem eigenthümlichen, dem Lichte weder ähnlichen noch ihm verwandten Wärmestoffe die Rede, und es müfste demnach, wenn durch Licht Wärme erzeugt wird, nothwendig eine eigentliche Umwandlung, ein Uebergang in einen verschiedenartigen Stoff statt finden. Sofern aber diese Erzeugung der sogenannten dunklen Wärme durch sogenannte leuchtende Wärme (Licht) statt findet und beide Arten der Wärme sich strahlend zeigen, geht die Eigenthümlichkeit des Lichtes nicht ganz verloren; eigentliche Umwandlung wird nicht angenommen, sondern nur eine Modification des Lichtstoffes. Dieses geht dem Wesen nach aus den Aeufserungen der Gelehrten hervor; wir wollen die verschiedenen Modificationen derselben in einigen Beispielen näher erläutern.

76) Nur im Allgemeinen reden Link[3] und Berthollet[4] von einer Gleichheit beider Stoffe, die sie aus der Aehnlichkeit

---

1 S. Art. *Licht. Chemische Wirkungen.* Bd. VI. S. 303.

2 Wuttig's Hypothesen in G. XXII. 415, wornach Licht und Wärme identisch und doch verschieden in ihren Wirkungen seyn sollen, überhebe ich mich näher zu erörtern.

3 Beiträge zur Physik u. Chemie. Rostock 1797.

4 Statique chimique. T. I. p. 194.

des Verhaltens beider folgern, Dizé[1] aber will aus eigenen Erfahrungen darthun, daſs beide ein und derselbe Stoff sind; inzwischen beziehen sich diese bloſs darauf, daſs gebrannter Kalk, mit Wasser oder Säuren benetzt, Wärme und Licht entwickelt, letzteres nachdem er durch das Brennen bloſs Wärme aufgenommen hat, die hier als Licht erscheinen soll, wonach beide also identisch seyn müſsten. Der Beweis ist, wie man leicht übersieht, ebenso wenig begründet, als ein anderer, daraus entnommener, daſs leuchtender Phosphor das Thermometer etliche Hundertstel eines Grades steigen macht und elektrische Funken Wärme erzeugen.

Die Hypothese von der Identität des Lichts und der Wärme ist von keinem Andern, so viel ich weiſs, so klar und so scharfsinnig entwickelt worden, als von Prechtl[2]. Wir müssen hiernach den *Wärmestoff* als eine äuſserst feine und höchst elastisch-flüssige Materie betrachten, deren Theile sich in groſser Entfernung abstoſsen, und die daher in Vergleichung mit andern Materien als inponderabel zu betrachten ist, obgleich sie auch Anziehung gegen andere Körper hat und sich in ihrem Verhalten durchaus als materiell zeigt. Der Wärmestoff ist daher durch das Universum verbreitet, um die Weltkörper aber angehäuft, auch in einzelnen Körpern bis zu einem hohen Grade der Verdichtung vorhanden, und sucht sich vermöge seiner Elasticität von diesen Körpern wieder zu entfernen, um mit dem der Umgebung ins Gleichgewicht zu kommen. Er ist demnach einer verschiedenen Bewegung fähig, von der stärksten, welche die Empfindung des *Lichts* mit seinen Abstufungen erzeugt, bis zu der geringeren, welche die Erscheinungen der Wärme hervorruft. Wird der Wärmestoff durch die Umwälzung der Sonne oder auf jeden Fall durch irgend eine Kraft dieses Himmelskörpers in Bewegung gesetzt und pflanzt sich diese Bewegung bis zur Erde fort, so erhalten wir einen Sonnenstrahl, welcher nicht erwärmend wirkt, so lange er in der anfänglichen Geschwindigkeit verharret, dagegen in Wärme übergeht, sobald diese Geschwindigkeit seiner Bewegung durch die Anziehung irgend eines Körpers aufgehoben wird. Die anziehende Kraft der Luft gegen die Lichtstrahlen ist beim

1 Journ. de Phys. T. VI. p. 177. G. IV. 410.
2 G. XX. 305.

Durchgange derselben geringer, wird aber stärker, wenn die strahlende Kraft des Lichts durch die Anziehung der Erde gegen dieselben geschwächt ist[1], und daher erwärmt sich die Luft stärker in der Nähe der Erdoberfläche. Spiegelnde Körper werfen die Lichtstrahlen zurück, ohne ihre strahlende Kraft zu elidiren, und können sich daher nicht erwärmen, dunkle dagegen werden erwärmt, weil durch Elision der strahlenden Kraft das Licht zur Wärme wird, und ein ähnliches Verhalten findet bei durchsichtigen Körpern statt[2]. Das Klima der Planeten wird daher durch die Höhe ihrer Atmosphären und ihre Masse bedingt. Die chemischen Wirkungen der Lichtstrahlen beruhen im Allgemeinen auf einer gröfseren Verwandtschaft des Sauerstoffs zum Wärmestoff, dessen strahlende Kraft durch ihn stärker, als durch die andern Bestandtheile der Körper elidirt wird, so dafs der Sauerstoff vorzugsweise Wärme aus dem Lichte bindet, statt dafs die nicht strahlende, und daher nicht leuchtende, Wärme an alle Bestandtheile in gleicher Menge übergeht. Die Lichtstrahlen werden dadurch in Farben zerlegt, dafs ihre strahlende Kraft vermindert wird; diejenigen müssen daher am stärksten erwärmen, bei denen dieses bereits der Fall war, die dann eben daher am wenigsten reflectirt werden, also die rothen, und neben diesen müssen noch andere, minder schnell bewegte liegen, die noch stärker erwärmen. Durch Zuführung der Wärme in einen Körper wächst die Elasticität des Wärmestoffes, bis sie zur Strahlung übergeht und der Körper erst roth, dann weifs glüht, weil der Uebergang zu schnell erfolgt, als dafs andere Farben entstehen könnten.

Es würde überflüssig seyn, noch weiter zu erwähnen, auf welche Weise die Erscheinungen des irdischen Leuchtens und

1 Ist die strahlende Kraft des Lichtes eine Folge seiner schnellen Bewegung, so mufs beides durch die hinzukommende Anziehung der Erde verstärkt, aber nicht geschwächt werden; die Ursache der Schwächung durch diese Ursache ist also nicht deutlich angegeben.

2 Wenn Prechtl die gröfsere Helligkeit aufserhalb unserer Erde in Zweifel stellt, so scheint mir hierin eine unnöthige Inconsequenz zu liegen; denn eben die bekannte aufserordentliche Geschwindigkeit des elastischen Stoffes bedingt seine Leuchtkraft, auch streitet dieses gegen die mit der Erhebung zunehmende Helligkeit. Ebenso wenig kann ein Meteorstein bei seinem Eintritt in die weniger dichte Luft und seinem Durchgange durch die Atmosphäre aus dieser Glühhitze annehmen, da er sie bei der Berührung der Erde, also unter günstigern Bedingungen, wieder verliert. Hiernach müfste die nämliche Ursache erst Wärme erzeugen und dann wieder vernichten.

Erwärmens mit dieser Theorie zusammenhängen, da in Gemäſsheit der neuerdings aufgefundenen Thatsachen die Unhaltbarkeit dieser Hypothese, ihrer anscheinend groſsen innern Consequenz ungeachtet, gegenwärtig sich leicht nachweisen läſst.

77) Wollen wir zuerst die Schwierigkeiten aufsuchen, die in ihr selbst liegen, so wird angenommen, daſs die schnellere Bewegung des Stoffes, welcher die Erscheinungen des Lichts und der Wärme erzeugt, die Phänomene des Lichtes, die langsamere aber die Phänomene der Wärme hervorruft. Nach den mechanischen Gesetzen ist aber die Kraft, welche ein Körper ausübt, eine Function der Geschwindigkeit; das ätherische Fluidum müſste also als Licht die gröſste Gewalt ausüben, allein dennoch dehnt das Licht weder die transparenten noch die dunkeln Körper beträchtlich aus, wohl aber bewirkt dieses die Wärme. Lieſse sich auch diesem Einwurfe begegnen, so steht doch das Verhalten der im Sonnenlichte erhitzten Körper ohne innern Zusammenhang da. Die strahlende Kraft, eine Folge der Elasticität, wird aufgehoben und es entsteht Wärme dadurch, daſs der Stoff durch Anziehung in Körpern gebunden wird; woher aber nimmt eben dieser Stoff, der nur durch sein Gebundenseyn zur Wärme wird und um so mehr Wärme seyn muſs, je mehr er gebunden ist, das Vermögen der irdischen Strahlung? Es genügt hierbei nicht zu sagen: der Wärmestoff wird zugeführt, denn dieser Ausdruck, aus einer andern Hypothese entnommen, paſst in diese neue nicht. Das Licht wird Wärme durch Gebundenseyn, und die Intensität der Wärme muſs der Stärke des Gebundenseyns proportional seyn; die einmal gebundene Wärme kann nicht ohne Grund das Bestreben, sich wieder zu bewegen, also mehr zum Lichte überzugehen, annehmen. Die Spiegelung und überhaupt die Erscheinungen der Reflexion, aus der Hypothese der Wellen so leicht erklärbar, bleiben nach Prechtl durchaus räthselhaft. Da die Molecüle des angenommenen, durch Strahlung, d. h. schnelle Bewegung, leuchtenden Stoffes so ausnehmend klein sind, so trifft ein jedes derselben als unmeſsbar kleines Element ein ebenso kleines des spiegelnden Körpers, und warum sollte dieses dasselbe nicht anziehen? Wir dürfen uns durch das Zurückprallen elastischer Kugeln nicht irre führen lassen, denn hierbei werden die Theilchen der elastischen Körper einander näher gerückt, springen wieder in ihre frühere Lage und bewirken dadurch einen Rückgang; ist

aber ein bewegtes Molecül einmal in Bewegung (Strahlung), so kann diese nicht negativ (entgegengesetzt) werden, ohne vorher = 0 zu werden; der Uebergang von positiver zu negativer Bewegung geht nothwendig durch 0, und da die Aufhebung der gegebenen Bewegung eine Verwandlung in Wärme bedingen soll, so muſs alles auf Körper jeder Art fallende Licht zu Wärme werden. Im rothen Lichte soll die Bewegung des Aethers am geringsten, daher die Wärme am stärksten seyn, die schnelle Bewegung des weiſsen Lichts wird aber langsamer durch die Wirkung des Prisma's; aber wenn das erste Prisma die Bewegung des weiſsen Lichtes so weit schwächt, daſs langsamere rothe Strahlen entstehen, so müſsten die durch das erste mindestens etwas aufgehaltenen blauen Strahlen durch ein zweites oder drittes u. s. w. so weit verzögert werden, daſs sie gleichfalls roth würden, was gegen die Erfahrung streitet. Die Hypothese läſst ferner die Frage ganz unbeantwortet, wie es zugeht, daſs das wenig helle, nicht röthliche, vielmehr etwas bläuliche, Licht des Knallgasgebläses eine ungleich stärkere Hitze im Quarz, Kalk, blanken Platin u. s. w. erzeugt, als das Sonnenlicht von der gröſsten bis zur geringsten Helligkeit und wie dessen Farbe immer seyn mag[1].

Vor allen Dingen aber kommt dasjenige in Betrachtung, was aus der neuesten Erweiterung der Optik hervorgeht. Prechtl ist zwar in seiner Hypothese auf gewisse Weise Anhänger der Undulationstheorie, denn er leidet die Lichterscheinungen aus Bewegung ab, allein diese Theorie war noch nicht in ihrer gegenwärtigen vollständigern Ausbildung vorhanden. Nehmen wir sie so, wie sie jetzt besteht, so wäre es nicht bloſs ein wahrhaft überflüssiges, sondern auch ein zweckloses Bemühen, die Identität von Licht und Wärme darthun zu wollen. Ueberflüssig wäre dieses Bestreben, weil sich doch in der That überhaupt kein Grund, viel weniger ein triftiger oder ein genügender, auffinden läſst, welcher uns abhalten könnte, einen eigenthümlichen, vom Lichte verschiedenen, Wärmestoff anzunehmen, vielmehr werden wir hierzu gezwungen, wenn wir die auffallende Verschiedenheit der Wärmephänomene und der des Lichts scharf ins Auge fassen. Als zwecklos aber muſs

---

1 Vergl. Parrot Entretiens sur la Physique T. IV. p. 306. Ritchie's Versuche in Phil. Trans. 1827. P. II. p. 139.

dasselbe erscheinen, wenn man berücksichtigt, dafs die Lichtphänomene sich so einfach und genügend erklären lassen, sobald man sie für sich allein nimmt und sie nicht gewaltsam mit den Wärmephänomenen verbinden will. Die Erscheinungen des Lichts sind die Wirkungen des durch das Universum verbreiteten Lichtäthers, welcher so fein ist, dafs seine stärksten Vibrationen nur durch die eigenthümlichen zarten Gesichtsnerven empfunden werden. Die gleiche Geschwindigkeit, womit die Undulationen dieses Aethers als sogenannte Lichtstrahlen die entferntesten Räume durchlaufen, ohne durch Hinstreifen neben andern Körpern merklich verzögert oder beschleunigt zu werden, beweiset wohl genügend, dafs derselbe der Anziehung gegen andere Körper wenig oder gar nicht unterworfen ist. Mir scheint dieses nichts weniger als schwer begreiflich, da auch die Luft, obwohl sie von einigen Körpern absorbirt, auch als gröbere und bei weitem minder elastische Flüssigkeit von allen etwas angezogen wird, dennoch in den Körpern im Allgemeinen nicht verdichtet wird und keine Atmosphären um sie bildet. Wie lächerlich würde es uns aber erscheinen, wenn jemand behaupten wollte, die aus der Luft in feste Körper übergehenden Schallwellen würden in diesen verdichtet und brächten dann eine Menge vom Schalle gänzlich verschiedener Erscheinungen hierdurch hervor, und doch tragen Manche kein Bedenken, dieses vom Lichtäther zu behaupten. Wird letzterer in einigen Körpern durch Anziehung verdichtet, was übrigens noch gar nicht erwiesen und zur Erklärung der Phänomene keineswegs erforderlich ist, so kann diese Verdichtung nur eine sehr geringe, die Lichtwellen unbedeutend afficirende, auf keine Weise die Ursache der Verwandlung in ein Wesen heterogener Art seyn.

78) Unter die Anhänger der Hypothese von der Identität des Lichts und der Wärme gehört vorzüglich auch Biot[1], und dieser mufs hauptsächlich genannt werden, weil so Viele, durch seine Autorität geleitet, ihm hierin gefolgt sind. Es würde überflüssig seyn, im Einzelnen nachzuweisen, wie er die verschiedenen Erscheinungen des Lichts und der Wärme mit dieser Hypothese in Einklang zu bringen sucht, und es genügt vielmehr nur nachzuweisen, dafs er wirklich beide dem Wesen

---

1 Traité de Physique. T. IV. p. 612 u. a. v. a. O.

nach für identisch hält, indem das Licht zur Wärme werden soll, wenn seine grofse Geschwindigkeit zur langsameren Bewegung oder zur Ruhe übergeht[1]. Man darf hierbei nicht übersehen, dafs Biot zu dieser Hypothese auf gewisse Weise gezwungen war; denn da er das Licht als materielles Wesen von der Sonne ausgehen und auf der Erde anlangen liefs, so mufste er nothwendig, um die Wärmeerregung im Brennpuncte zu erklären, entweder die oben (§. 73) bereits als naturwidrig dargestellte Hypothese von eigenthümlichen, die Lichtstrahlen begleitenden, Wärmestrahlen annehmen, oder eine Verwandlung des Lichts in Wärme zugestehn.

Es liefsen sich noch weit mehrere Gelehrte anführen, die durch die Aehnlichkeit beider Phänomene, der Lichtstrahlung und der Wärmestrahlung, veranlafst wurden, eine Identität beider Potenzen anzunehmen, wenn sie auch Bedenken trugen, diese Ansicht bestimmt auszusprechen; inzwischen wollen wir unter diesen doch Leslie[2] nennen, welcher noch obendrein viel über Wärme geschrieben hat.

79) Mit der Hypothese einer Gleichheit der Wärme und des Lichts ist eine andere gleichsam nothwendig verbunden, die wir hier näher prüfen wollen, um so mehr, da sie schon früher gelegentlich erwähnt werden mufste. Wird das Licht in Wärme verwandelt, auf welche Weise dieses auch geschehen mag, so mufs nothwendig die Wärme durch das unaufhörlich zur Erde gelangende Licht bedeutend und weit stärker vermehrt werden, als sich mit der Erfahrung vereinigen läfst. Um dieser Schwierigkeit auszuweichen, nahm man zur sogenannten *Strahlung* seine Zuflucht, die man die irdische nannte, wobei Täuschungen um so weniger zu vermeiden waren, je gewisser und ohne Widerrede es eine *Wärmestrahlung* giebt. Letztere einfach aufgefafst besteht darin, dafs die in irgend einem Körper aufgehäufte stärkere Wärme an einen minder stark erwärmten Körper, ohne Zwischenmittel und unmittelbare

---

1 La transmission plus abondante à mesure, que le rayonnement colorifique s'approche de l'état de lumière, semble indiquer le progrès d'un même phénomène qui, dans ses modifications diverses agit sur nous inégalement, comme si les émanations calorifiques n'étoient que de la lumière obscure, et la lumière du calorique lumineux.

2 Inquiry into the nature of Heat. 1804. Philos. Trans. 1816. P. I. prop. 40.

Berührung beider Körper, übergeht. Man glaubte sich hierdurch berechtigt, anzunehmen, dafs die auf der Erdoberfläche erzeugte, aus dem Lichte entstandene Wärme nach eintretender Dunkelheit wieder zum leeren Himmelsraume zurückkehre. Wo sie dort bleibe, ob sie sich im Weltenraume zerstreue und diesen nach und nach erwärme, diese nicht blofs natürliche, sondern wohl nothwendige Frage blieb unbeantwortet; blofs Biot deutet beiläufig an, die Wärme möge wohl auf irgend eine unbekannte Weise der Sonne wieder zuströmen und so abwechselnd zwischen Sonne und Erde kreisen. Autoritäten für diese Meinung anzuführen würde unnöthige Weitläuftigkeit veranlassen, die um so mehr vermieden werden kann, da wohl mit äufserst wenigen Ausnahmen alle Physiker diese sogenannte irdische Wärmestrahlung annehmen und in der durch Wells[1] aufgestellten Theorie des Thauens eine schöne Anwendung und Bestätigung derselben finden. Zweckmäfsiger wird es seyn, die Thatsache, wie sie allein vorstellbar seyn kann und nothwendig seyn mufs, deutlich im Einzelnen zu entwickeln, hauptsächlich um den unbestimmten Ausdruck *Strahlung* von der magisch wirkenden Achtung zu entkleiden, die ihm zu Theil geworden ist und die gewifs in dem umgebenden Dunkel Viele zu Anhängern der Theorie gemacht hat, von denen jedoch keiner, so viel mir bekannt, sich jemals zu einer Analyse der Thatsache verstanden hat. Aufserdem ist es nothwendig, denjenigen Apparat hier zu beschreiben, dessen man sich vorzugsweise zur Wahrnehmung dieser Strahlung bediente.

80) Die ganze Hypothese, den Uebergang des Lichts zur Wärme und die Strahlung der letztern betreffend, wird stets nur kurz angegeben. Das Licht, namentlich das der Sonnenstrahlen, erzeugt Wärme. Dieses ist Thatsache, die nicht widersprochen werden kann. Hiernach ist die Wärme einmal vorhanden und sie müfste ohne Unterlafs zunehmen, allein sie strahlt wieder zurück und zwar vorzugsweise gegen den heitern Himmel, wobei diejenigen Bedingungen und Modificationen statt finden, die im Artikel *Thau* bereits erwähnt worden sind und welche hier zu wiederholen nicht nöthig scheint. Dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, dafs die Quantitäten des ausstrahlenden Wärmestoffs, einige Schwankungen nicht ge-

1 S. Art. *Thau*. Bd. IX. S. 687.

rechnet, welche die ungleichen Wechsel gröſserer Hitze oder Kälte einzelner Jahre und Jahreszeiten bedingen, sich stets das Gleichgewicht halten, obgleich es mit groſsen Schwierigkeiten verbunden seyn dürfte, den oft so enormen Unterschied der intensivsten und geringsten Kälte der Winter und Wärme der Sommer an den nämlichen Orten hiermit in Einklang zu bringen.

Das Instrument, wodurch die statt findende Strahlung der Wärme von der Erde gegen den heitern Himmel oft bestätigt gefunden wurde, soll von Wollaston erfunden worden seyn[1], welcher damit schon vor 1814, also vor dem Erscheinen des Werkes von Wells über den Thau, Versuche anstellte und Biot[2] eine Nachricht davon mittheilte, die von diesem öffentlich bekannt gemacht wurde. Auch Leslie macht auf die Erfindung Anspruch, allein dieser machte von seinem Instrumente erst im Jahre 1817 Gebrauch[3]. Der Apparat, *Aethrioskop* (von αἰθήρ die helle Luft und σκοπέω ich sehe) genannt, besteht aus einem Hohlspiegel mit einem empfindlichen Thermometer in seinem Brennpuncte, den man gegen den heitern Himmel richtet, und wenn dann das Thermometer sinkt, so betrachtet man dieses als Folge einer Entfernung der Wärme gegen den Himmel, der sogenannten irdischen Strahlung. Murray[4] hat
Fig. 39. ein tragbares Aethrioskop angegeben. Dieses besteht aus einer Glaskugel B auf einem kleinen hölzernen Gestelle, welche zur Hälfte mit Weingeist gefüllt ist. In diese wird das Ende einer Thermometerröhre CD eingeschliffen, deren Scale zugleich als Säule dient, um den Hohlspiegel A zu tragen. Im Brennpuncte des letztern befindet sich die kleine Kugel b des Luftthermometers, und zugleich ist er mit einem Deckel verschlossen, den man wegnimmt, um die Strahlung zu beobachten. Leslie[5] hat die anfängliche Einrichtung beibehal-

---

1 Edinburgh Philos. Journ. N. IX. p. 176.

2 Bulletin des Sciences par la Soc. Philom. Nov. 1816. Vergl. Journ. of the Royal Instit. T. III. p. 184.

3 Edinburgh Philos. Trans. T. VIII. p. 484.

4 Edinburgh Phil. Journ. N. XII. p. 356.

5 Description of Instruments, designed for extending and improving meteorological observations. Edinburgh 1820. 8. Uebers. von Brandes. Leipz. 1823. Darin ist indeſs das Aethrioskop nicht eigens beschrieben, wohl aber in Robert Nicholson's Anweisung zur

ten[1], inzwischen ist, wo nicht bei den frühern, mindestens bei den spätern Instrumenten die unterste Kugel mit einer auswärts blanken messingnen so umgeben, daſs zwischen beiden ein kleiner Zwischenraum bleibt; bei andern Exemplaren ist die untere Kugel, etwa doppelt so groſs als die obere, mit einer Hülle von Leinwand umgeben, um die Strahlung derselben zu verhüten. Nobili[2] verglich ein von Newman in London verfertigtes Exemplar mit seinem Thermomultiplicator, wobei jedoch das Uebergewicht sehr auf die Seite des letztern Instrumentes fiel. Hiernach ist die Scale des Aethrioskops tausendtheilig; es lassen sich dabei noch halbe Grade füglich schätzen und diese entsprechen 0,05 Grad des Centesimalthermometers. Wird der Deckel geöffnet, so steigt die Flüssigkeit leicht um 30 bis 40 Grade der tausendtheiligen Scale, ja unter günstigen Umständen wohl bis 50 Grade[3]. Dennoch war Nobili's Thermomultiplicator[4] so viel empfindlicher, daſs er, mit seinem Spiegel gegen den heitern Himmel gerichtet, sogleich eine Ablenkung der Nadel um 120 Grade gab, worauf dann die Nadel nahe bei 90°, also dem Maximum der Ablenkung, stehn blieb. Beim Richten beider Instrumente gegen eine Wärmequelle, die allmälig abnahm, kam das Aethrioskop zum Stillstande, während die Nadel des Thermomultiplicators noch Bogen von 25° bis 30° durchlief. Vorher ergab die Beobach-

---

Kenntniſs, Prüfung, Anwendung und Verfertigung aller Arten Thermometer, Barometer, Hygrometer, Pyrometer, Aräometer, Hydrometer u. s. w. 2te Aufl. 1833. 8. S. 72.

1 Er bedient sich dazu desjenigen seiner Differentialthermometer, welches Bd. II. S. 539 beschrieben und Fig. 168 gezeichnet worden ist.

2 Antologia di Firenze N. 136. Poggendorff's Ann. XXVII. 455.

3 Die Reduction ist leicht, da 10 Grade des Aethrioskops auf 1 Grad der Centesimalscale gehn. Ob es aber möglich sey, eine unter allen Umständen sich gleichbleibende Correspondenz zwischen den Graden des Aethrioskops und eines genauen Thermometers zu erhalten, muſs ich nach meinen Versuchen mit Leslie'schen Differentialthermometern bezweifeln; ein Aethrioskop habe ich nie gebraucht. Uebrigens könnte man statt dessen sich auch füglich gewöhnlicher Thermometer bedienen, die sich für die hierzu erforderlichen Temperaturen füglich so verfertigen lassen, daſs man an ihnen noch halbe Zehntelgrade unterscheiden kann.

4 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 999.

tung, dafs eine Ablenkung von 66° ungefähr 1 Grade und eine Ablenkung von 44° ungefähr 0,5 Grad des Aethrioskops zugehörte, woraus die unglaubliche Empfindlichkeit des erstern Instrumentes genügend hervorgeht. Bedient man sich aber des Kunstgriffes, die leitenden Drähte umzukehren, wenn die Nadel eine gewisse Entfernung vom Nullpuncte angenommen hat, so geht sie dann nach der andern Seite, und die Empfindlichkeit des Apparates wird dadurch verdoppelt, so dafs man nach Nobili wohl im Stande ist, den 6000sten Theil eines Grades der achtzigtheiligen Scale wahrzunehmen. Melloni[1] bediente sich gleichfalls seines Thermomultiplicators zu Strahlungsversuchen, und sah die Magnetnadel augenblicklich auf Kälte zeigen, wenn er sich jenes feinern Instrumentes statt des Thermometers bei dem Versuche bediente. Inzwischen genügt es schon, die Säule blofs auf eine Fensterbank zu stellen und den Reflector gegen den Himmelsraum zu richten, um die auf Kälte deutende Abweichung der Magnetnadel wahrzunehmen, und zwar eine desto stärkere, je ruhiger die Luft und je freier von Dünsten sie ist. Kommen Wolken in diejenige Gegend des Himmels, gegen welche die Axe des Reflectors gerichtet ist, so nähert sich die Nadel sofort dem Nullpuncte wieder. Diese Versuche Melloni's, wonach es der verticalen Stellung des Aethrioskops nicht bedarf, sondern nur einer Richtung gegen den Himmel, um Strahlungsphänomene wahrzunehmen, sind unter Voraussetzung der Zuverlässigkeit der erhaltenen Resultate und der Abwesenheit anderweitig bedingender Einflüsse am meisten für eine Strahlung entscheidend; dennoch aber erfordert die Wichtigkeit der Sache eine strenge Prüfung des ganzen Problems.

81) Wie grofs und allgemein auch der Beifall seyn mag, womit die durch Wells zur Erklärung der Phänomene des Thauens aufgestellte Hypothese von einer Strahlung der auf der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen erzeugten Wärme gegen den heitern Himmel aufgenommen worden ist, so lassen sich doch die sehr gewichtigen und nach meiner Ansicht unwiderleglichen Argumente gegen dieselbe bei unparteiischer und gründlicher Prüfung durchaus nicht verkennen; ich habe mich daher

1 L'Institut 1835. N. 89. Poggendorff's Ann. XXXV. 570.

schon früher als Gegner derselben bekannt[1], und erlaube mir jetzt die Sache abermals etwas näher zu beleuchten. Zuvörderst darf nicht übersehn werden, daſs man auf einige Thatsachen gestützt diese Strahlung wie eine *qualitas occulta* hingestellt hat, ohne die Aetiologie derselben nachzuweisen und sie mit dem übrigen gesammten Verhalten der Wärme in Einklang zu bringen. Existirt eine solche Strahlung, so muſs sie durch irgend eine Ursache erzeugt werden, und diese Ursache muſs entweder im Wesen der Wärme selbst, oder in der Erde, welche die erhaltene Wärme wieder zurückstöſst, oder im leeren Himmelsraume, welcher sie anzieht, oder endlich in der vereinten Wirkung einiger von diesen gegründet seyn[2]. Wird gleich in der Theorie des Thauens das durchaus naturwidrige Verhalten der Erde so hingestellt, als ob sie die aufgenommene Wärme wieder von sich stieſse und gleichzeitig den dadurch erzeugten Mangel durch Aufnahme von Wasserdämpfen wieder zu compensiren suchte, so kann doch ein solcher innerer Widerspruch unmöglich bei näherer Prüfung als statthaft gelten. In dem Raume, wohin man die Wärme entweichen läſst, kann die Ursache unmöglich liegen, denn nicht zu gedenken, daſs die Grenze oder der eigentliche Ort, wohin die Wärme entweichen soll, gar nicht bestimmt angegeben wird, mithin jeder Anhaltpunct für die Untersuchung fehlt, ob daselbst eine solche anziehende Kraft vorhanden seyn könne, führt der weitere Verfolg dieser Hypothese zu einer Menge innerer Widersprüche. Strahlt die Wärme wirklich mit solcher Geschwindigkeit, daſs sie in einer Nacht oder wohl gar in wenigen Stunden über die Grenze der Atmosphäre hinaus gelangt, so ist kein Grund vorhanden, wodurch diese ihre Bewegung aufgehoben wird, sie muſs sich also in den unmeſsbar groſsen Räumen zerstreuen, und während man die Anhäufung derselben auf der Erde beseitigt, geräth man in eine noch gröſsere Schwierigkeit des fortdauernden Verlustes der Sonne, die nach Jahrtausenden nicht ohne Erfolg bleiben könnte, wenn man berechnet, was für ein geringer Theil der von der Sonne nach allen Seiten

1 In meinem Programm: Sacra natilitia Divi Caroli Friderici cet. Renunt. G. W. Muncke. 1819. 4. Vergl. Schweigger's Journ. Th. XXX. S. 193. Handbuch d. Naturlehre. Th. I. S. 704.

2 Vergl. Baumgartner's Zeitschrift. Th. III. S. 55.

ausgesandten Wärme von der Erde aufgefangen wird. Dieses Argument bewog vermuthlich Biot zu äufsern, die von der Erde ausgestrahlte Wärme möge wohl durch einen gewissen unbekannten Procefs wieder zur Sonne zurückkehren, allein dieses wäre dann immer nur ein unmerklich kleiner Theil des gesammten Verlustes. Tritt am Tage eine Wolke vor die Sonne, so behält der beschattete Theil der Erde seine erhaltene Wärme nicht etwa ohne Vermehrung bei, sondern er verliert sie augenblicklich. Wollte man diesen Verlust gleichfalls als eine Folge der Strahlung betrachten[1], so müfste die Wolke am Tage das Gegentheil bewirken, als bei Nacht, denn während der Nacht hindert sie die Strahlung und hebt sie ganz auf, und nähme man, um dieser Schwierigkeit zu entgehen, eine andere Ursache dieses Verlustes, etwa das Aufsteigen der erhitzten Luft und der Dämpfe, an, so liefse sich diese Ursache auch für die nächtliche Abkühlung in Anspruch nehmen.

82) Hiernach kann also die Ursache der nächtlichen Strahlung nicht in der Erde liegen, denn diese nimmt vielmehr, übereinstimmend mit dem Verhalten aller Körper überhaupt, die ihr dargebotene Wärme in Folge der allgemeinen Anziehungskraft der Materie auf und bindet sie, kann sie daher unmöglich in einem solchen Grade wieder von sich stofsen, dafs sie dadurch gleichzeitig die an die Wasserdämpfe gebundene begierig wieder anziehn sollte, mindestens ist nirgends nachgewiesen worden, ob und wie sie durch das Licht und dessen Abwesenheit hierzu disponirt werden könnte. In den Himmelsräumen darf diese Ursache gleichfalls nicht gesucht werden, denn man kann unmöglich einem unbekannten Leeren eine solche Kraft beilegen, und sie müfste daher in der Wärme selbst vermöge deren eigenthümlicher Beschaffenheit liegen.

---

1 Hierzu scheint Boussingault, ein eifriger Anhänger dieser Strahlungshypothese, geneigt. Er erzählt in Ann. de Chim. et Phys. T. LVII. p. 113, dafs zu Guaillabamba in Quito auf dem sandigen und hochliegendem Boden die Wärme am Tage und die Kälte bei Nacht so stark sey, weil es für die Strahlung so günstig liege. Wenn bei Tage die Hitze unerträglich sey und eine Wolke vor die Sonne trete, so entstehe plötzlich eine empfindliche Kälte (un froid assez vif). Es klingt dieses fast, als nehme die Wärme den Augenblick der Nichtbeachtung durch die Sonne wahr, um sofort wieder in den Himmelsraum zu entweichen.

In dieser Beziehung muſs zuvörderst bemerkt werden, daſs bei der Hypothese im Allgemeinen vorausgesetzt wird, es sey ein ganz eigentlicher Zuwachs von Wärme vorhanden, indem diese entweder von der Sonne aus der Erde zuströme, oder das von jenem Himmelskörper ausgesendete Licht in Wärme verwandelt werde; aber beide Hypothesen sind aus den angegebenen Gründen unzulässig. Von unverkennbarer Wichtigkeit ist indeſs das Argument, wenn man sagt, das Phänomen der Erwärmung der Erde durch die Sonnenstrahlen am Tage und ihrer Abkühlung während der Nacht sey einmal vorhanden, die Existenz einer Wärmestrahlung aber lasse sich nicht in Abrede stellen, und die Erde müsse daher ebenso gut, als jeder andere Körper, Wärme ausstrahlen, und zwar gegen die sie umgebende kältere Hülle; die Ursache hiervon liege in der eigenthümlichen Beschaffenheit der Wärme, der wir, wenn auch ohne nähere Nachweisung des eigentlichen Grundes, die Eigenschaft der Strahlung in Gemäſsheit unzweifelhafter Erfahrungen beilegen müſsten.

Das Gewicht dieses Argumentes läſst sich keinen Augenblick in Abrede stellen, jedoch darf eben in Beziehung auf das Thatsächliche Folgendes nicht übersehn werden. Zuerst strahlt allerdings jeder wärmere Körper seinen Ueberschuſs gegen kältere aus, und die Strahlung geht auch wirklich durch den leeren Raum, wie wir vorläufig zugeben wollen, zu Körpern in verhältniſsmäſsig geringem Abstande über, das Stattfinden einer Strahlung gegen den *unbegrenzten leeren Raum* ist aber durch keine Erfahrung, auſser die bei der Erde selbst statt findende, gegeben, die daher nicht durch sich selbst bewiesen werden kann. Zweitens aber gewahren wir allerdings, daſs die Wärme eines heiſsern Körpers gegen einen kältern strahlt, allein es ist kein Phänomen gegeben worden, daſs ein wärmerer Körper seine Strahlen durch ein noch wärmeres Medium dem kältern Körper oder gar einem wärmelosen Medium zusendet, wie man bei der Erde annimmt, deren Wärmestrahlen die mehr erwärmten nächsten Luftschichten durchdringen und dem höhern absolut oder sehr kalten Raume zueilen sollen. Eine solche, allen andern Thatsachen, wie man sie bisher aufgefaſst hat, schlechthin widerstreitende Hypothese muſs man daher entweder überhaupt aufgeben, oder einen genügenden Erklärungsgrund dieses gänzlich abweichenden Verhaltens aufsuchen. Ehe

dieses aber mit einiger Sicherheit geschehn kann, müssen zuerst die Gesetze der Wärmestrahlung, des Durchganges der Wärmestrahlen durch die verschiedenen Körper und das Verhältnifs derselben zu den Lichtstrahlen näher untersucht werden, und wir verlassen daher diese Betrachtungen, um sie, nachdem dieses geschehn seyn wird, wieder anzuknüpfen (§. 363).

83) c) Nach einer dritten Hypothese, welche mehrere ältere und auch wohl einige neuere Anhänger zählt, sind die Lichtstrahlen nicht an sich warm, sondern erregen, ohne selbst in Wärme umgewandelt zu werden, nur die in den Körpern selbst vorhandene, in einem Zustande der Ruhe oder des Gebundenseyns befindliche Wärme. Um von den verschiedenen Autoritäten nur einige der bedeutendsten anzuführen, erwähne ich J. A. DE LUC[1]. Dieser nimmt an, die Lichtstrahlen seyen nicht an sich warm, sondern würden erst durch ihre Verbindung mit dem Feuerstoffe zur Wärme umgewandelt. Es ist inzwischen schon oben (§. 3) erwähnt worden, dafs seine, auf lauter unbegründete Hypothesen gestützte Theorie eine genauere Prüfung nicht verdient. Auch FLAUGERGUES[2] hält die Sonnenstrahlen an sich nicht für warm, sondern nur für Wärme erregend. Am wichtigsten ist wohl die Hypothese, welche C. W. MARSCHALL V. BIEBERSTEIN[3] hierüber aufgestellt hat. Dieser entlehnte aus seinen astronomischen Forschungen eine in sich ziemlich consequente Hypothese über das Wesen des Lichts und der Wärme. Beide sind nach ihm eigenthümliche materielle Stoffe, von denen das Licht sich stets im Weltraume bewegt, die Wärme aber durch eine Art von Anziehung mit den Weltkörpern in Verbindung bleibt. So ist die Wärme unserer Erde an diese gebunden und erhebt sich nur bis zu einer gewissen Höhe über ihre Oberfläche. Das Licht entbindet die Wärme auf unserer Erde, entfernt sich aber der Schnelligkeit seiner Bewegung gemäfs augenblicklich wieder und läfst die Wärme an manchen Orten stark angehäuft zurück. Diesem gemäfs zeigt sich an jedem Orte eine tägliche und jährliche Ebbe und Fluth des Wärmestoffs, jene in Folge der täglichen Axendre–

---

1 Lettres physiques et mor. T. V. L. 142.
2 Journ. de Phys. T. LXXXVII. p. 270.
3 V. Zach monatliche Correspondenz. Th. XX. S. 515.

hung, diese des jährlichen Umlaufs der Erde um die Sonne. Außerdem können manche sich zeigende Verschiedenheiten der Temperatur aus dem chemischen Verhalten der Wärme gegen die Atmosphäre und gegen irdische Körper erklärt werden. Auf ähnliche Weise, als unsere Erde, verhalten sich auch andere Weltkörper, und wir können daher nicht schließsen, daſs die der Sonne nähern oder entferntern eine diesem Abstande proportionale gröſsere oder geringere Wärme haben.

Diese Hypothese ist von den Physikern kaum überhaupt beachtet worden und dennoch hat sie allerdings viel für sich; sie vermeidet eine Menge von Schwierigkeiten, die einer jeden andern entgegenstehn, und wollte man auch anstehn, sie thatsächlich für genugsam begründet zu betrachten, so dürfte es doch nichts weniger als leicht seyn, sie genügend als mit der Erfahrung im Widerspruch stehend zu widerlegen. Auf jeden Fall ist der Satz, daſs die eigenthümliche Beschaffenheit der Himmelskörper ihre Temperatur bedinge, welcher damals noch mehr den Reiz der Neuheit hatte, sicher sehr wohl begründet, und was man hierüber, bloſs aus den Entfernungen entnommen, aufzustellen pflegt, gehört gänzlich in das Gebiet unerwiesener und unerweisbarer Hypothesen. Wir müssen auch diese Theorie später noch in den Kreis der nähern Untersuchungen ziehn.

84) Früher war ich selbst entschiedener Anhänger der eben erwähnten Hypothese, und ich gestehe, daſs ich noch jetzt zwischen dieser und einer andern, demnächst zu erwähnenden schwanke, sofern man überhaupt bei einer allseitig so schwierigen und dunklen Aufgabe wagen darf, sich zu irgend einer Theorie zu bekennen. Hierzu bewog mich insbesondere ein lange Zeit übersehenes, allerdings höchst merkwürdiges Phänomen, welches ich mir erlaubt habe durch den Ausdruck: Littrow's *Problem* zu bezeichnen, weil dieser berühmte Astronom dasselbe bei der Versammlung der Naturforscher und Aerzte zu Hamburg zuerst einer nähern Discussion unterwarf[1]. Die Aufgabe ist einfach keine andere, als zu erklären, wie es zugehe, daſs die Spinnefäden im Focus der stärksten Refractoren durch das stärkste, concentrirteste Sonnenlicht nicht zerstört werden. Schon früher waren Physiker auf diese auffallende

---

1 Baumgartner's Zeitschr. Th. II. S. 53. Poggendorff's Ann. XXVII. 467.

Thatsache aufmerksam geworden, unter denen Marat[1] der erste seyn dürfte, denn er fand bei seinen Versuchen mit dem Mikroskop, dafs sehr kleine Körper im Focus nicht warm wurden, und folgerte hieraus, dafs die Sonnenstrahlen an sich nicht warm seyn könnten, sondern nur aus den getroffenen Körpern Wärme entwickelten. Auch v. Tschirnhausen[2] nahm die geringe Wärmeerregung wahr, welche seine grofsen Brennlinsen in sehr feinen Drähten erzeugten. Als v. Littrow die Lösung dieses Problems in Anregung gebracht hatte, erfuhr ich durch Moll, dafs Wollaston und Arago sich hierüber unterhalten hätten, ihre Erklärung aber war seinem Gedächtnifs entfallen, jedoch erhielt ich dieselbe später durch Capitain Kater, welcher sie von Wollaston erhalten hatte. Hiernach soll jeder Körper im Verhältnifs seiner Masse Wärme aufnehmen, aber im Verhältnifs seiner Oberfläche ausstrahlen. Ein Spinnenfaden ist als ein Cylinder zu betrachten, und sofern bei Cylindern von gleicher Länge sich die Oberfläche zur Masse wie $2r:r^2$ verhält, mithin die Masse im quadratischen, die Oberfläche aber im einfachen Verhältnisse abnimmt, so läfst sich eine Abnahme denken, wobei die Masse gegen die Oberfläche eine verschwindende Gröfse wird, wie bei einem Spinnenfaden, dessen Wärmestrahlung der Oberfläche proportional, daher überwiegend grofs gegen die der Masse proportionale Aufnahme der Wärme seyn mufs, so dafs derselbe zu viel Wärme ausstrahlt, als dafs er im Focus zerstört werden könnte.

85) Genau genommen leuchtet mir diese Erklärung nicht ein; denn der Spinnenfaden ist anfänglich kalt, die Wärmestrahlen der Sonne werden ihm erst zugeführt, ehe seine Temperatur zunimmt, sie werden von der Oberfläche aufgenommen und zwar dieser proportional; diese Aufnahme geht aber der Ausstrahlung nothwendig voraus, und wenn letztere stark seyn soll, mufs auch erstere im gleichen Verhältnifs stark seyn, mithin immer eine Zerstörung durch erhöhte Temperatur statt finden. Kater gestand die Gültigkeit dieser Argumentation zu, wie nicht minder auch die Folgerung, dafs ein gleiches Verhalten bei andern Wärmequellen gleichfalls statt finden müsse.

---

1 Découvertes sur le feu, l'électricité et la lumière. Sec. éd. Par. 1779. 8.

2 Acta Erud. Lips. 1691. p. 517. 1697. p. 414.

Es läfst sich aber leicht zeigen, dafs ein Spinnenfaden in der erhitzten Luft über einer Weingeistlampe da zerstört wird, wo man ohne Nachtheil die auf die Hand wirkende Hitze ertragen kann. Zur nähern Prüfung des Thatsächlichen fafste ich eine Brennlinse von 7 Zoll Durchmesser und 27 Z. Brennweite in einen schmalen Reif und befestigte sie über einer auf einem Stativ beweglichen Regel, welche eine Drehung nach der Sonne gestattete; am andern Ende war eine Gabel von Draht aufgerichtet, zwischen welche, genau im Brennraume, die zu prüfende Substanz befestigt oder gehalten wurde. Zu den Versuchen wählte ich wolkenfreien Himmel um Mittag im Sommer 1831, und erhielt folgende Resultate. Feinstes Blattgold gab einen unerträglichen Glanz, blieb aber unversehrt oder schrumpfte zusammen; Letzteres erfolgte bei Blattsilber sogleich. Ein schwarzes Pferdehaar verbrannte sofort, ein weifses schwieriger, mehrere vereint augenblicklich. Menschenhaare verbrannten nur zuweilen; ein Spinnengewebe blieb Stunden lang unversehrt, obgleich weifses Papier in 1,5 Zoll Entfernung vor oder hinter demselben augenblicklich verbrannte; englische Metallgaze von feinem Eisendraht und noch feinerm Kupferdraht wurde heifs, schmolz aber nicht, obgleich weifses Papier bis 0,75 Z. hinter derselben verbrannte; ein Quecksilberkügelchen auf Glas liegend verdampfte, eine Uhrfeder wurde glühend, massiver Schwefel schmolz und tröpfelte herab, chemische Zündhölzchen entzündeten sich augenblicklich; ein Strom Wasserstoffgas aus einem Röhrchen durch den Brennraum geblasen wurde nicht entzündet, jedoch erfolgte dieses sogleich, wenn er auf einen Holzspahn geleitet wurde. Fäden aus Schellack, die mit dem Mikrometer eines Plöfsl'schen Mikroskops gemessen 0,0035 bis 0,012 Lin. Durchmesser zeigten, wurden im Brennpuncte nicht einmal so erweicht, dafs sie sich durch ihr eigenes Gewicht bogen, dieses geschah aber, wenn sie 0,017 Lin. dick waren; bei 0,059 Lin. Dicke rollten sie zu kleinen Kügelchen auf und bei 0,3135 Lin. Dicke fingen diese Knöpfchen sogleich an zu rauchen. Der Durchmesser eines im Brennpuncte nicht zerstörten Spinnenfadens, von einer grofsen Winkelspinne zum Halten ihres Netzes gesponnen, dessen Zusammensetzung aus 5 bis 7 einzelnen Fädchen bei 255facher Vergröfserung sich deutlich erkennen liefs, betrug nur 0,0043 Lin., bei einem Menschenhaare, welches zerstört wurde, 0,0215 Lin.

und bei einem Wollaston'schen versilberten Platindrahte 0,0195 Lin.

86) Gegen die aus diesen Versuchen entnommene Folgerung, dafs die Lichtstrahlen weder in Wärme verwandelt werden, noch eigene Wärmestrahlen mit sich führen, vielmehr die Wärme in den Körpern blofs erregen, hat sich ein ebenso gelehrter als scharfsinniger Physiker, PRECHTL[1], erklärt, indem er die ausbleibende Erhitzung solcher feiner Fädchen vielmehr aus einer Abkühlung durch aufsteigende Luftströmung ableitet. Um von bestimmten Gröfsen auszugehn, nimmt er die Temperatur des Spinnenfadens zu 20° R. an, und derselbe soll dann durch die Lichtstrahlen eine Wärme von 30° R. erhalten, die nicht höher steigt, weil die mit 12,5 Fufs Geschwindigkeit zuströmende Luft von 20° R. ihm nach dem Verhältnisse seiner Masse und Oberfläche stets so viele Wärme entzieht, dafs seine Temperatur nie über 30° R. hinausgeht. Inzwischen habe ich dieser, wenn gleich auf den Calcül gegründeten, Erklärung nach meiner Ansicht unwiderlegliche Argumente entgegengesetzt[2]. Zuerst streitet eine Luftströmung von 12,5 Fufs Geschwindigkeit gegen alle Wahrscheinlichkeit, ist bei weitem gröfser als diejenige, womit der Rauch von im Focus brennenden Körpern aufsteigt, und mufs in dem engen Raume eines allseitig abgeschlossenen Refractors als ganz unmöglich erscheinen. Eine solche Geschwindigkeit kann aber zweitens gar nicht hervorgebracht werden. Es wird nämlich angenommen, dafs ohne Ableitung der Wärme eine Hitze von 600° R. = T entstehn würde, folglich um die Temperaturerhöhung innerhalb der Grenze von 10° = t zu erhalten, $\frac{T}{t} = 60$ Luftwechsel in einer gegebenen Zeit erforderlich seyen, woraus dann folgt, dafs 12,5 Fufs Geschwindigkeit der Luft diesen zur genügenden Abkühlung erforderlichen steten Wechsel geben, wenn man die Zeitdauer, während welcher die Luft mit dem Spinnenfaden in Berührung bleibt, auf 0,1 Sec. setzt. Es ergiebt sich nämlich die in dem genannten Zeitraume statt findende Höhe des Aufsteigens der Luft $= 2y\frac{T}{t}$, worin y den

1 Baumgartner's Zeitschrift. Th. II. S. 154.

2 Ebendaselbst. Th. III. S. 49.

Halbmesser des Brennraumes = 0,125 Zoll bezeichnet, also für 0,1 Sec. = 0,25 × 60 Zoll und für 1 Sec. = 12,5 Fufs. Allein diese Geschwindigkeit kann unmöglich eine Folge derjenigen Temperatur seyn, welche der Spinnenfaden ohne diesen Luftstrom erhalten würde, also der angenommenen 600°, denn wäre diese im Spinnenfaden oder der ihn umgebenden Luft im Brennraume wirklich vorhanden, so würde der Spinnenfaden augenblicklich ebenso zerstört werden, als in der weit minder heifsen Luft über der Flamme einer Weingeistlampe. Die Geschwindigkeit der Luftströmung kann nur durch die wirkliche Temperaturerhöhung der Luft im Focus bedingt werden, und beträgt also $0,5 \times 0,00375\,(t - t')\,2\sqrt{h}$ für Centesimalgrade[1], oder $0,01452375\,(t - t')\,\sqrt{h}$ nach der achtzigtheiligen Scale. Behalten wir die angenommenen Gröfsen bei, so ist in Centesimalgraden $t - t' = 12°,5$; $h = 2y = 0,25$ Zoll $= 0,02083$ Fufs, und es beträgt daher die hierdurch erzeugte Geschwindigkeit nur 0,0262 Fufs, eine verschwindende Gröfse, die jedoch im Innern eines Fernrohrs wohl kaum erreicht wird. Dieses Resultat stimmt drittens genau mit einer andern beachtenswerthen Thatsache überein. Erzeugt man nämlich mittelst einer gröfsern Brennlinse einen Focus in einem Zimmer, so bewegen sich in dem Lichtkegel die Sonnenstäubchen nach allen Seiten sowohl aufwärts als auch abwärts, je nachdem die zufällig vorhandene Luftströmung dieses bewirkt. Wenn aber die Lichtstrahlen die Luft und diese Sonnenstäubchen beträchtlich und bis zur Glühhitze erwärmten, so müfste man ein Aufsteigen der ersteren und ein Zerstörtwerden der letztern bemerken, was jedoch nicht im Mindesten wahrnehmbar ist. Endlich aber giebt die Erfahrung einen directen Beweis gegen die Zulässigkeit der vorliegenden Erklärung, da die Erscheinung im luftverdünnten Raume auf gleiche Weise statt findet. Um dieses darzuthun, spannte ich durch Ankleben mit etwas Wachs zwei sich kreuzende Spinnenfäden im obern Theile einer kleinen Campane aus dünnem, sehr hellem Glase, von 4,5 Z. Höhe und 2 Z. unterm Durchmesser, aus, exantlirte die Campane bis zur 400fachen Verdünnung und brachte die Spinnenfäden in den Focus der genannten Linse, allein sie wurden nicht zerstört, obgleich ein Holzspahn, sowohl vor als auch

1 S. Art. *Heizung*, *Luftheizung*. Bd. V. S. 208.

hinter der Campane in den Lichtkegel gehalten, sich entzündete. Hiernach findet also eine Abkühlung durch die Luft nicht statt, und es kann im Focus der Sonnenstrahlen diejenige Glühhitze nicht vorhanden seyn, wie in der heifsen Luft über einer Weingeistlampe, oder wie sie in demjenigen Körper vorhanden ist, welcher im Focus zum Glühen gebracht wird.

87) Melloni[1], dessen Urtheil wegen seiner bedeutenden Leistungen im Gebiete der Wärmelehre vorzügliche Beachtung verdient, verwirft gleichfalls die Erklärung, welche aus der Dünne des Spinnenfadens hergenommen ist. Zuerst erklärt er die Behauptung für falsch, dafs dünne Körper in den Wärmestrahlen weniger erhitzt werden, als dicke, da vielmehr nach seinen Versuchen die Erhitzung, wenn man sie nach der von der hintern Fläche abgegebenen, nicht durchgestrahlten Wärme mifst, bei dünnen Körpern stärker, als bei dickern ist. Nach seiner Ansicht ist in Folge vieler Analogieen die Substanz der Spinnenfäden sehr durchgänglich für die strahlende Wärme und überdiefs geht im Allgemeinen die Sonnenwärme leichter, als jede andere, durch diathermane Körper. Beide Ursachen zusammen scheinen ihm hinreichend, um die Unverbrennlichkeit der Spinnenfäden in den concentrirten Strahlen der Sonne zu erklären. Wir müssen hierbei den allgemeinen Satz der stärkern Erwärmung kleinerer Massen ganz aus dem Spiele lassen, der sich nur auf dünne Platten bezieht, in denen sich die Wärme weniger ausbreiten kann, als in dickern. Wollte man diesen Satz als allgemein gültig betrachten, so würde er die Thatsache selbst aufheben, die einmal constatirt ist. Allein hiervon abgesehn ist die Erklärung unzulänglich und Melloni würde sie nicht aufgestellt haben, wenn er die Erscheinung im Ganzen berücksichtigt hätte. Das Phänomen findet nicht blofs bei Spinnenfäden, sondern auch bei feinen Fäden aus Gummilack und selbst bei sehr feinen Metalldrähten statt, denen wir doch unmöglich insgesammt eine vorzügliche Diathermanie beilegen können, da sie ohnehin bei dunkeln Fäden von Schellack und schwarzen Haaren gering ist, bei Metalldrähten aber gänzlich wegfällt.

88) Zu dem bereits Erwähnten kann ich noch einen später

---

1 Poggendorff's Ann. XXXIII. 26.

angestellten interessanten Versuch hinzufügen. An einem hellen Wintertage, wo die erhitzende Kraft der Sonnenstrahlen übigens stets schwächer von mir gefunden wurde, als im Sommer, erzeugte ich in einem Ringe aus Messingdraht von etwa 1,5 Z. Durchmesser eine sehr dünne und klare Eisscheibe, und hielt diese in etwa 0,75 Z. Abstand vor einen im Focus der genannten Linse befindlichen Holzspahn, so daſs der Lichtkegel vorher durch das Eisblättchen dringen muſste, ehe er den Spahn erreichte. Hierbei glückte es mir einigemal bei einer äuſsern Temperatur von nicht mehr als — 3° C., daſs sich der Spahn früher entzündete, als das Eisscheibchen geschmolzen war. Dieses und andere ähnliche Phänomene erklären sich übrigens leicht aus der groſsen *Diathermanie* des Eises, welches die Wärmestrahlen, hauptsächlich die sogenannten leuchtenden, zu sehr durchläſst, als daſs es dadurch erhitzt werden könnte.

89) Da es sich hier vorzugsweise um die Erzeugung der Wärme auf unserer Erde durch die Sonnenstrahlen handelt, so dürfen die interessanten Versuche von Marcet über das Verhältniſs des täglichen Wechsels der Temperatur in einiger Erhebung und nahe über der Erdoberfläche nicht übergangen werden, die eine Ergänzung zu demjenigen liefern, was in dieser Beziehung früher durch Pictet und Six geschehn und bereits an einem andern Orte[1] erwähnt worden ist. Marcet[2] bediente sich zur Erforschung dieses täglichen Wechsels eines Mastbaumes von 114 Fuſs Höhe, welcher auf einer groſsen Wiese, fern von Gebäuden, aufgepflanzt war. An diesem befanden sich in Abständen von 10 zu 10 Fuſs horizontale Latten, jede mit einer Rolle an ihrem Ende, die zum Hinaufziehn und Herablassen der Thermometer dienten, deren Kugeln mit schlecht leitenden Substanzen umgeben waren, um eine Ableitung ihrer Wärme während des Herablassens zu verhüten. Bei jeder Beobachtung wurden zugleich der Zustand des Himmels und vorzüglich die Angaben des Aethrioskops und des Hygrometers aufgezeichnet. Die Beobachtungen fallen in das Jahr 1837 und in die ersten Mo-

1 S. Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 345.

2 Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Génève. T. VIII. Im Auszuge in Bibl. univ. Nouv. Sér. T. XV. p. 398. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 353.

nate des Jahrs 1838, und geben folgende allgemeine Resultate. Zuerst findet nach Sonnenuntergang eine mit der Höhe zunehmende Vermehrung der Wärme statt, die Beschaffenheit des Himmels sey, welche sie wolle, ausgenommen, bei Wind. Zweitens tritt das Maximum dieser Zunahme unmittelbar nach Sonnenuntergang ein; von diesem Augenblicke an bleibt die Wärme der obern Schichten constant oder geht selbst unter die Temperatur der untern Luftschichten herab, namentlich wenn sehr reichlicher Thau fällt. Drittens ist die Grenze, bis wohin die höhere Temperatur sich erstreckt, in der Regel nicht höher als 100 Fuſs, selbst bei vollkommen heiterem Himmel, denn bei bedecktem und hauptsächlich im Winter erreicht sie diese Höhe nicht. Die mit der Höhe zur Zeit des Sonnenunterganges zunehmende Wärme variirt sehr sowohl rücksichlich der Gröſse des Unterschiedes, als auch der Höhe, bis zu welcher sie reicht, nach den Jahreszeiten, und zeigt sich am auffallendsten im Winter und wenn der Boden mit Schnee bedeckt ist. Das Maximum des Unterschiedes zeigte sich am 20sten Januar und betrug 8° C. in einem Abstande von 50 Fuſs, indem das untere Thermometer in 2 Fuſs Höhe — 16°,25 und das obere in 52 Fuſs Höhe vom Boden — 8°,25 zeigte; das Mittel aus zwölf Winterbeobachtungen betrug für diesen Höhenunterschied 5°,5 und selbst bei zwei Thermometern, in 2 Fuſs und 5 Fuſs Höhe, betrug der Unterschied im Mittel aus 9 Beobachtungen, als der Boden mit Schnee bedeckt war, 2°,4 C., am 4ten Januar sogar im Maximum 4° C. Daſs Marcet die Ursache dieser Erscheinungen in die Strahlung setzt und dem Schnee ein vorzügliches Strahlungsvermögen beilegt, weswegen die Wirkungen im Winter hervorstechender sind, begreift sich sehr leicht, wenn man berücksichtigt, daſs diese Ansicht die allgemein herrschende ist; nichtsdestoweniger lassen sich auch hiergegen diejenigen Einwendungen geltend machen, die oben aufgestellt worden sind. Wir werden auf dieses Problem wieder zurückkommen, wenn später von den Hypothesen zur consequenten Erklärung aller Wärmephänomene die Rede ist.

90) Wir müssen zum Schlusse hier noch die wichtigen Resultate kurz mittheilen, welche Pouillet[1] durch seine

---

1 Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants

neuesten Versuche erhalten hat, indem sie bei ihrem Umfange und der ihnen gewidmeten grofsen Aufmerksamkeit die bedeutendste Aufklärung über die vorliegenden Probleme geben. Hierbei diente hauptsächlich ein eigens für diesen Zweck construirtes Instrument[1], *Pyrheliometer* genannt, welches entweder als ein einfaches oder mit einer Linse versehn gebraucht wurde (*pyrhéliomètre direct et à lentille*). Dasselbe besteht aus dem Fig. hohlen Cylinder *v v* aus Silberblech, von 1 Decim. Durchmes- 40. ser und etwa 14 bis 15 Millim. Höhe, welcher ungefähr 100 Gramme Wasser enthält. In die Mitte desselben reicht die Kugel des vermittelst eines Korkes eingesteckten feinen Thermometers, dessen Röhre nebst Scale sich in einer metallenen Röhre befindet. Letztere wird durch die beiden Ringe c, c′ so gehalten, dafs sie sich vermittelst des Knopfes b stets um ihre Axe drehn läfst, damit das Wasser im Gefäfse *v v* in Folge der Bewegung beständig in gleichmäfsiger Temperatur seiner ganzen Masse erhalten werde. Die dünne Scheibe d, dem Cylinder *v* parallel aufgesteckt, dient zur Orientirung des Apparates, welcher sich, auf einem geeigneten Stative befestigt, nach allen Richtungen drehn läfst. Die Oberfläche des Cylinders *v v* ist sorgfältig mit Lampenrufs geschwärzt.

Will man Beobachtungen anstellen, so sorgt man dafür, dafs das Wasser möglichst genau die Temperatur der Umgebung habe, und stellt den Apparat im Schatten an dem Orte auf, wo man zu beobachten beabsichtigt. Daselbst zeichnet man während 4 Minuten von Minute zu Minute den Stand

---

et absorbants de l'air atmosphérique, et sur la température de l'espace. Par. 1838. Ueb. in Poggendorff's Ann. XLV. 25 u. 481.

1 Pouillet sagt, dafs er sich zugleich auch des in seinen Élémens de Physique et de Météorologie, beide erste Ausgaben, beschriebenen Instruments bedient habe. Es kann dieses kein anderes seyn als dasjenige, welches Th. II. S. 702 d. 1sten A. beschrieben und Fig. 356 gezeichnet ist. In einem doppelten Cylinder von 2 F. Länge und 4 Z. Weite, dessen Zwischenraum mit Eis angefüllt war, befand sich an dem einen, der Sonne zugewandten, Ende ein Rohr mit einem flachen Glase; hinter diesem eine Blendung, durch welche das Bild der Sonne so, dafs die Seiten des Lichtkegels einen Winkel von 32′ bildeten, auf eine feine geschwärzte Thermometerkugel fiel. Der innere Raum wurde luftleer gemacht, und die Grade des Thermometers gaben die erwärmende Kraft der Sonne.

des Thermometers auf; in der 5ten Minute stellt man das Instrument hinter einen Schirm so, daſs man am Ende dieser Minute den Schirm wegnehmen kann, damit die Sonnenstrahlen direct auf die geschwärzte Scheibe fallen. Indem durch stetes Umdrehen der Röhre das Wasser in steter Bewegung gehalten wird, zeichnet man während 5 Minuten von Minute zu Minute den Stand des Thermometers auf, bringt dann den Apparat wieder in seine frühere Stellung und beobachtet auf gleiche Weise in den nächsten 5 Minuten seine Erkaltung. Heiſst dann R die Erwärmung, welche das Instrument während der 5 Minuten in den Sonnenstrahlen angenommen hat, r und r′ die Erkaltungen vorher und nachher, so ist die durch die Sonnenstrahlen erhaltene Temperaturerhöhung t

$$t = R + \frac{r + r'}{2}.$$

Heiſst ferner d der Durchmesser des Cylinders *vv* in Centimetern, p das Gewicht des Wassers in Grammen, p′ das Gewicht des Gefäſses und des in ihm befindlichen Theiles des Thermometers, nach seiner specifischen Wärmecapacität auf Wasser reducirt, so entspricht die beobachtete Temperaturerhöhung t einer Wärmemenge $= t\,(p + p')$, und da diese während 5 Minuten auf eine Fläche $= \frac{1}{4}\pi d^2$ fiel, so wurde in dieser Zeit für jede Flächeneinheit

$$\frac{4(p+p')}{\pi d^2}\,t, \text{ also in 1 Minute } \frac{4(p+p')}{5\pi d^2}\,t$$

erzeugt. Für das gebrauchte Instrument betrug die in 1 Min. auf einem Quadratcentimeter erhaltene Wärmemenge 0,2624 t.

Das *Linsen-Pyrheliometer* hatte bei ähnlicher Einrichtung eine Linse von 24 bis 25 Centim. Durchmesser und 60 bis 70 Centim. Brennweite; ihr Brennpunct fiel auf einen Cylinder mit ungefähr 600 Gramm Wasser. Die dadurch erhaltene Wärme wird durch eine ähnliche Formel berechnet, jedoch kommt eine Correction für die Verschluckung durch das Glas hinzu, die durch Vergleichung mit dem gewöhnlichen Pyrheliometer erhalten wird. Man muſs den letztern Apparat bei stärkerem Winde anwenden, geringe Luftbewegungen haben auf die nur etwa 4 bis 5 Grad über die Umgebung erwärmte Wassermasse keinen Einfluſs.

91) Die aus mehreren, in einigen auf einander folgenden Jahren angestellten Beobachtungen erhaltenen Resultate wurden durch Berechnung auf eine gemeinschaftliche Gröfse gebracht. Hierzu war zuerst erforderlich, die Dicke der Atmosphäre = ε zu bestimmen, die durch folgende Formel gefunden wird:

$$\varepsilon = \sqrt{2rh + h^2 + r^2 \text{Cos. } z} - r \text{ Cos. } z,$$

worin r den mittleren Erdhalbmesser = 80, h die Höhe der Atmosphäre = 1 und z die Zenithdistanz der Sonne bezeichnen, welche letztere statt directer Messung sich leichter aus der Stunde, in welche die Mitte des Versuchs fällt, berechnen läfst, wenn man

$$\text{Cos. } z = \text{Sin. } \nu \text{ Sin. } d + \text{Cos. } \nu \text{ Cos. } d \text{ Cos. } H$$

setzt, worin $\nu$ die Breite des Beobachtungsortes, d die Declination der Sonne um Mittag und H den Stundenwinkel zur Zeit des Versuchs bezeichnen. Eine Vergleichung der Temperaturzunahmen mit den Dicken der Atmosphäre ergab, dafs die Resultate sich füglich durch die Formel

$$t = Ap^{\varepsilon}$$

darstellen liefsen, worin A und p zwei Constanten sind. Wurden diese durch zwei Beobachtungen aus jeder Reihe bestimmt, so gaben alle Reihen immer sehr nahe wieder denselben Werth von A, aber verschiedene Werthe von p, wonach also A eine beständige, vom Zustande der Atmosphäre unabhängige, p aber eine nach der ungleichen Heiterkeit verschiedene Constante ist. Nach den Versuchen ist A = 6°,72, p aber variirt zwischen 0,7244 im Juni und 0,7488 im Wintersolstitium. Die hiernach berechneten Werthe stimmten mit den beobachteten genau überein, selbst als z. B. am 4. Mai die durchlaufene Dicke der Atmosphäre um Mittag 24 Lieues und Abends um 6 Uhr 86 betrug, wobei sich jedoch von selbst versteht, dafs nur bei fortdauernder gleicher Heiterkeit des Himmels für einen ganzen Tag der nämliche Werth von p in Anwendung kommen kann. Setzt man in der letzten Formel p = 1 und ε = 0, so erhält man t = 6°,72 oder diejenige Wärme, welche erhalten würde, wenn die Atmosphäre die gesammte Wärmemenge durchliefse oder das Pyrheliometer sich an der Grenze der Atmosphäre befände. Diese Gröfse mit der oben gefundenen Zahl 0,2624 multiplicirt giebt t = 1,7633 als diejenige Wärmemenge, welche die Sonne in 1 Minute auf eine Fläche von 1 Quadrat–

centimeter an der Grenze der Atmosphäre, oder wenn keine Wärme durch die Luft verschluckt wird, absetzen müfste. Aus den Beobachtungen folgt, dafs die Atmosphäre, auch bei senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen, mindestens 0,21 und höchstens 0,27 der auffallenden Wärme verschluckt, doch war bei der letzteren Gröfse eine sehr leichte Trübung bemerkbar, und einmal bei ausgezeichneter Heiterkeit wurde nur 0,18 als Minimum gefunden. Wendet man dieses auf die ganze beleuchtete Erdoberfläche an, so gelangt man zu dem Resultate, dafs der die Erde erreichende Antheil zwischen 0,5 und 0,6, der absorbirte aber zwischen 0,5 und 0,4 liegt, aber sehr nahe an 0,4 grenzt. Berechnet man hiernach die Gesammtmenge der Wärme, welche überhaupt auf die Erde fällt und theils von der Atmosphäre, theils von der Erde aufgenommen wird, so ist für den Halbmesser R der Erde der Beleuchtungskreis $= \pi R^2$, mithin die erhaltene Wärmemenge

$$1^\circ{,}7633\ \pi R^2.$$

Würde diese Wärmemenge auf alle Puncte der Erde gleichmäfsig vertheilt, so empfinge jedes Quadratcentimeter

$$\frac{1^\circ{,}7633\ \pi R^2}{4\,\pi R^2} = 0^\circ{,}4408$$

in jeder Minute, also im ganzen Jahre 231675 Einheiten, und diese Wärme wäre im Stande, eine Eisschicht von 30,89 Meter zu schmelzen.

92) Es scheint mir überflüssig, die Betrachtungen mitzutheilen, welche Pouillet für den Fall anstellt, wenn die Sonne als glühender Körper diese Wärme aus sich ausstrahlte, da eine solche Ausstrahlung, als wirkliche Abgabe der Wärme, aus angegebenen Gründen nicht wohl vorstellbar ist, auch geht die Nichtigkeit aus den gefundenen Resultaten von selbst hervor. Wird nämlich die specifische Wärmecapacität der Sonne auf das 133fache des Wassers gesetzt, eine an sich nach unserer Kenntnifs irdischer Körper übermäfsige Gröfse, so würde die Sonne in 10000 Jahren um 100° C. erkalten, also in 5000 Jahren um 50°, und da die obige Annahme mindestens um das Hundertfache zu grofs ist, so müfste die Sonne während dieser geschichtlichen Periode um 5000° erkaltet seyn, so dafs sie ihre ursprüngliche Temperatur, die Pouillet auf 1461° bis 1761° berechnet[1], nicht blofs verloren haben, sondern schon

1 Vergl. Edinburgh Phil. Journ. N. XXIV. p. 405.

bis tief unter den absoluten Nullpunct herabgesunken seyn müfste. Ebenso übergehe ich die Betrachtungen, welche Pouillet über die Erkaltung der mit diathermanen Hüllen umgebenen Körper anstellt, wobei er inzwischen den Satz ausspricht, dafs nie ein Wärmestrahl in einen Lichtstrahl oder ein eigentlicher Lichtstrahl in einen Wärmestrahl verwandelt sey, weswegen also seiner Ansicht nach beide als verschieden, aber dennoch vereint, von der Sonne ausgesandt werden, eine mit der Undulationstheorie vom Lichte doch wohl ohne Widerrede unvereinbare Hypothese. Diese Untersuchungen hängen aber mit einer andern, in den neuesten Zeiten viel ventilirten, Frage über die Wärme des Himmelsraumes zusammen. Fourier wurde nämlich durch seinen gelehrten Calcül zu dem Resultate geführt, dafs die Temperatur des Weltraumes sehr wenig unter der Temperatur der Erdpole liege und etwa — 50 bis — 60° C. betrage, indem die gesammte Wärme, welche von sämmtlichen Himmelskörpern, mit Ausnahme der Sonne, zur Erde gelangt, an Menge derjenigen gleich seyn soll, welche eine Hülle mit Maximum des Emissionsvermögens und von einer allseitigen, jener gleichen, Temperatur auf die Erde senden würde. Sobald dieser Satz aufgestellt war, fand Swanberg[1] aus der Strahlenbrechung, dafs die Wärme des Planetenraumes — 50°,35 C. betrage. Auch Poisson nimmt die Wärme des Himmelsraumes zu etwa — 52° C. an, und als Arago[2] aus den Beobachtungen des Capitain Back, welcher an der Nordküste America's wohl nicht die gröfstmögliche Kälte, aber doch die unglaubliche von — 56°,7 C. mafs, folgerte, dafs die Temperatur des Himmelsraumes nothwendig niedriger als — 57° seyn müsse, weil nach allen Beobachtungen die Kälte mit der Erhebung über die Meeresfläche zunimmt, wollte Poisson diese Folgerung nicht zugestehen, sondern behauptete, die Temperatur des Himmelsraumes müsse nothwendig niedriger seyn, als die der oberen Atmosphäre, die sonach im vorliegenden Falle eine gröfsere Wärme, als die untere gehabt hätte. Nach Pouillet leitet er dieses Resultat theils aus der von ihm gefundenen Bestimmung der Wärme des Planeten-

---

1 Berzelius Jahresbericht 1830. S. 54.

2 Compt. rend. 1836. N. 24. p. 575. Poggendorff's Ann. XXXVIII. 235. Vergl. *Temperatur*. Bd. IX. S. 491.

raumes her, theils aus den mechanischen Bedingungen des Gleichgewichts, nach denen die Luft an ihrer Grenze einen solchen Kältegrad besitzen mufs, dafs sie ihre Elasticität gänzlich verliert[1]. Auch Pouillet unterwirft die Gleichgewichtsbedingungen diathermaner Hüllen einer näheren Untersuchung, die er dann auf die Wärmeabsorption der Luft und die Temperatur des Weltraumes anwendet. Nach ihm sind die Absorptionskräfte einer gegebenen elastischen Flüssigkeit, als diathermane Substanzen betrachtet, ihrer Masse und Wärmecapacität proportional. Nach diesem nämlichen Princip läfst sich die gesammte Menge der strahlenden Wärme auffinden, welche in einer gegebenen Zeit von der Flächeneinheit irgend einer atmosphärischen Schicht ansgesandt wird; sie hängt ab von der eigenen Temperatur t dieser Schicht, von der Wärmecapacität c, der Masse m derselben und von der Constante[2] B =

1 Nach einer einfachen Theorie folgt naturgemäfs, dafs die Grenze der Atmosphäre mit dem absoluten Nullpuncte zusammenfallen mufs; denn so lange noch Wärme vorhanden ist, wird diese auf die Molecüle der Luft abstofsend wirken, und dieses ist auch eigentlich Poisson's Ansicht. An der Grenze der Atmosphäre mufs also der absolute Nullpunct der Wärme statt finden, weil die Wärme durch Anziehung der Erde festgehalten wird, in Gemäfsheit ihrer Repulsivkraft mit der Entfernung vom Erdkerne, wo sie ihr Maximum haben würde, abnimmt, und endlich da ihre Grenze erreicht, wo die Materie, die sie festzuhalten vermöchte, aufhört vorhanden zu seyn. Wäre uns also der absolute Nullpunct der Wärme und das Gesetz der Wärmeabnahme bei zunehmender Höhe bekannt, so könnten wir die Höhe der Atmosphäre genau bestimmen. Dem bekannten Verhalten der Wärme zuwider scheint mir aber die Hypothese zu seyn, wonach bei der grofsen Repulsivkraft, dem Strahlungsvermögen, der Wärme, und ungeachtet sie stets von der Sonne und den Himmelskörpern zur Erde gelangen soll, dennoch zwischen den etwas erwärmten Planetenraum und die weit wärmere Atmosphäre ein absolut kalter Kugelkreis gesetzt wird, der die Grenze der Atmosphäre bildet.

2 Diese Constante ist aus den Versuchen von Dulong und Petit über das Erkalten der Körper im leeren Raume entnommen. Danach ist die absolute Wärmemenge e, welche in einer gegebenen Zeit aus einer gegebenen Fläche eines Körpers strahlt, dessen Temperatur durch $t + \Theta$ und Strahlungsvermögen durch f bezeichnet wird, $e = B \,.\, f \,.\, a^{t + \Theta}$. Nimmt man die Zeit = 1 Min. und die Fläche = 1 Quadratcentimeter, so ist B = 1,146. Vergl. §. 244, wo diese Gröfse jedoch = 1,165 angegeben wird. Pouillet findet diese Gröfse aus der a. a. O. angegebenen Formel, wonach $m \,.\, a^{\Theta} = 2{,}037$ ist. Letzterer Werth, in seinen Formeln substituirt, giebt B = 1,146, wenig abweichend von 1,165.

1,146, wozu noch die unbekannte Gröſse k kommt, welche von der Natur der elastischen Flüssigkeit abhängt. Die Wärmemenge ist dann für die gegebenen Gröſsen

$$B k m c a^{t}$$

und für eine andere Capacität = c′ und eine Temperatur = t′

$$B k m c' a^{t'}.$$

Denken wir uns demnach einen Ort unter dem Aequator, wo längere Zeit vollkommene Heiterkeit geherrscht hat, so muſs sowohl die mittlere Temperatur des Bodens, als auch die einer jeden darüber befindlichen ungleich hohen Luftschicht constant seyn, indem die erhaltene Wärme stets wieder abgegeben wird. Die von einer unteren Schicht erhaltene Temperatur hängt ab von ihrem eigenthümlichen Absorptionsvermögen und von der Wärme, die ihr sowohl von der Erde, als auch von der Sonne und aus dem Weltraume zuströmt. Eben dieses ist der Fall bei einer höheren Schicht, jedoch wird erstere mehr Wärme von der Erde, letztere mehr von der Sonne und dem Weltraume erhalten, weil beim Durchdringen der Luft allezeit eine gewisse Menge verloren geht. Es läſst sich daher die Menge der von willkürlich höher oder tiefer liegenden Luftschichten aufgenommenen Wärme annähernd berechnen, und man kann sie füglich der Einheit gleich setzen, wenn man nicht solche Schichten nimmt, die der Grenze der Atmosphäre sehr nahe liegen; denn zwei Luftschichten, eine sehr nahe und eine sehr entfernt von der Erdoberfläche sich befindend, absorbiren an jedem Tage eine gleiche Menge Wärme, aber da sie beide Alles, was sie empfangen haben, wieder verlieren, so ist klar, daſs sie in der nämlichen Zeit gleiche Wärmemengen verlieren. Hiernach hat man

$$B k m c a^{t} = B k m c' a^{t'},$$

woraus folgt

$$t - t' = \frac{1}{\text{Log. } a} . \text{Log. } \frac{c'}{c}.$$

Dieses Gesetz, welches einfach das Gesetz der Wärmeabnahme in der Luft unter den Tropen ausdrückt und bis zur Grenze der Atmosphäre gültig zu seyn scheint, muſs durch das Experiment bestätigt werden.

93) Man weiſs aus den Untersuchungen von Laplace und Poisson, daſs die Wärmecapacitäten elastischer Flüssig-

keiten in einem gewissen Verhältnifs stehen, welches durch die Formel

$$\frac{c'}{c} = \left(\frac{p}{p'}\right)^{1 - \frac{1}{k}}$$

ausgedrückt wird, die für trockne Luft

$$\frac{c'}{c} = \left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{8}{11}}$$

giebt, wie die genauen Versuche von Gay-Lussac und Welter beweisen, die sich auf Drucke von 144 Millim. bis 1460 Millim. und auf Temperaturen von 40° bis — 20° C. erstrecken, so dafs hiermit schon die Wärmecapacitäten bis zu $\frac{4}{5}$ der gesammten Luftschichten sich berechnen lassen, obgleich es wünschenswerth wäre, jene Versuche noch bis auf Temperaturen von — 60° oder — 80° C. auszudehnen. Nimmt man aber vorläufig an, dafs diese Formel von Poisson bis zu 0,01 des atmosphärischen Druckes gültig sey, so ergiebt sich, dafs die Temperatur einer Luftschicht von diesem Drucke 163° C. unter der mittleren Temperatur der die Erde berührenden Schicht liege, und da letztere 27° C. beträgt, so mufs jene = — 136° C. seyn. Berechnet man die Temperaturen von 100 Schichten, deren jede um 0,01 des atmosphärischen Druckes weniger zusammengedrückt ist, so erhält man annähernd die mittlere Temperatur der Luftsäule = — 8° C., welche diejenige ist, vermöge welcher die ganze Luftsäule strahlende Wärme aussendet. Nach dieser Formel würde die Abnahme der Wärme 1° C. für eine Erhebung von 225 Meter betragen, statt dafs v. Humboldt 200 Meter fand, was nicht sehr von einander abweicht[1].

94) Ein am Erdboden der nächtlichen Strahlung ausgesetztes Thermometer empfängt Wärme aus dem Weltraume und aus der Atmosphäre; von der ersteren gelangen jedoch nur 0,3 bis 0,4 zum Thermometer, wenn sich dieses nicht auf sehr hohen Bergen befindet; die letztere ist das Ergebnifs der Strahlung der einzelnen concentrischen Schichten vom Meeresspiegel bis zur Grenze der Atmosphäre und demnach abhängig von der Wärmevertheilung in der ganzen Höhe der atmosphä-

---

1 Ueber diese stets sehr unsichere Bestimmung vergl. *Erde.* Bd. III. S. 1008. *Höhenmessung.* Bd. V. S. 311. *Temperatur.* Bd. IX. S. 349.

rischen Säule. Wie auch das Verhältniſs der Intensität dieser beiden Quellen seyn mag, so kann man sich beide in einer Hülle vereint denken, die, mit einem Maximum des Emissionsvermögens versehen, genau so viele Wärme dem Thermometer zusenden müſste, als beide genannte Quellen, der Weltraum und die Atmosphäre. Eine solche imaginäre Hülle nennt Pouillet *Zenithalhülle* und ihre Temperatur *Zenithaltemperatur*; sie ist für jeden besonderen Ort und für jede Zeit veränderlich, weil sie von einer stets gleichmäſsig wirkenden Ursache, der Temperatur des Weltraumes, und einer veränderlichen, der Temperatur der Luftschichten, abhängt. Dieses vorausgesetzt sey z die Zenithaltemperatur und wie oben $t'$ die Temperatur des Weltraumes, $t''$ die mittlere der atmosphärischen Säule, b und $b'$ das von der Atmosphäre auf die Wärme der Erde und die Wärme des Himmelsraumes ausgeübte Absorptionsvermögen; man bedenke ferner,

*α*) daſs die Zenithalhülle in der Zeiteinheit von der Flächeneinheit eine Wärmemenge $= B a^z$ aussendet, worin B die angegebene Constante 1,146 bezeichnet, das Strahlungsvermögen aber = 1 angenommen wird,

*β*) daſs die Atmosphäre eine Wärmemenge $= B b a^{t''}$ aussendet, weil ihr Emissionsvermögen ihrem durch b bezeichneten Absorptionsvermögen gleich ist,

*γ*) daſs der Weltraum eine Wärmemenge $= B a^{t'}$ aussendet, wovon jedoch nur der Antheil $(1 - b')$ die Atmosphäre durchdringt und zum Thermometer gelangt, wonach also das Emissionsvermögen des Weltraums in Beziehung auf das Thermometer $= (1 - b')$ gesetzt und die vom Weltraume ausgesendete Wärme durch $(1 - b') B a^{t'}$ ausgedrückt werden kann. Hiernach erhält man also

$$B a^z = B b a^{t''} + (1 - b') B a^{t'}$$

oder

$$a^z = b a^{t''} + (1 - b') a^{t'},$$

wodurch die allgemeine Relation gegeben wird, welche die Zenithaltemperatur stets verknüpft mit der Temperatur des Weltraumes, mit der mittleren veränderlichen der Luftsäule und den beiden ungleichen Absorptionskräften der Atmosphäre.

95) Um die Zenithaltemperatur in jedem Augenblicke der Nacht ebenso, wie die Lufttemperatur zu beobachten, wendet

Pouillet theils Spiegel, theils ein von ihm erfundenes *Aktinometer* an, welches von dem durch Herschel angegebenen wesentlich abweicht und eigentlich *Aethrioskop* genannt werden müſste, sofern seine Bestimmung ist, die nächtliche Strahlung zu messen, aber auch den ihm gegebenen Namen insofern verdient, als man die Strahlung des Planetenraumes, so wie die der Sonne, damit messen kann. Die Spiegel vereinigen nach seinen Erfahrungen die Strahlen nicht im Brennpuncte, können daher durch hohle Kegel oder bloſse Reflectoren ersetzt werden, die weit bequemer sind; inzwischen hält Pouillet diese Versuche überhaupt für delicat und die Formeln für verwickelt, weil sie die wirkliche Temperatur der Luft und das Verhältniſs der Erkaltung, die aus ihrem Contacte entspringt, zu dem, welches aus der Strahlung hervorgeht, enthalten, wobei sich einige Ungewiſsheit unmöglich vermeiden läſst. Das *Aktinometer* besteht aus 4 Ringen von 2 Decimeter im Durchmesser,
Fig. 41. mit Schwanenflaum so ausgefüllt, daſs sie nicht zusammengedrückt werden, indem die Haut des Schwans den Boden bildet. Dieses System steht in einem ersten Cylinder c von Silberblech, welcher gleichfalls mit Schwanenhaut umhüllt und von einem zweiten weiteren Cylinder c′ eingeschlossen ist. Auf der Mitte der oberen Flaumen ruhet die Kugel eines empfindlichen Thermometers, der Rand aber steht so weit über, daſs nur zwei Drittheile der hohlen Himmelshalbkugel übersehn werden, und ist in der Ebene der Flaumen mit Löchern versehn, damit die kalte Luft abflieſse. Richtet man diesen Apparat, dessen weitere Construction aus der Figur ersichtlich ist, während der Nacht gegen den heiteren Himmel, und beobachtet man von Stunde zu Stunde sein Thermometer und ein anderes, 4 Fuſs über dem Boden frei in der Luft hängendes, so giebt der Unterschied beider ein Mittel, die Zenithaltemperatur zu finden, wozu aber eine eigene Graduirung gehört. Hätte nämlich das Aktinometer eine unbegrenzte Oberfläche und befände es sich im Vacuum unter einer hemisphärischen Hülle von constanter Temperatur, so würde es die Temperatur derselben annehmen, da es aber nur zwei Drittheile der Himmelshemisphäre übersieht, und sich in einer Luftumgebung befindet, die es erwärmt, so wird seine Temperatur stets die der Hülle übertreffen. Die Graduation bezweckt daher, aus seiner Temperatur und der der umgebenden Luft die der Hülle zu entnehmen, mit welcher es

strahlende Wärme austauscht. Um das einfache Verhältniſs dieser Gröſsen aufzufinden, verfertigte Pouillet einen künstlichen Himmel aus einem Gefäſse von 1 Met. Durchmesser, welches in 2 Met. Höhe von drei dünnen Stäbchen gehalten wurde. Das Gefäſs war am Boden geschwärzt und mit einer bis — 20° erkältenden Mischung gefüllt; das Aktinometer stand senkrecht in solchen Abständen darunter, daſs das Thermometer nach einander ein Viertel, ein Drittel und zwei Drittel der Halbkugel übersah. In jeder Lage wurde das Temperaturgleichgewicht abgewartet und der Stand beider Thermometer aufgezeichnet. Auf gleiche Weise wurde bei einer Erkaltung des Gefäſses bis 0° und den zwischenliegenden Temperaturen verfahren, und dieses führte zu folgendem Resultate: *Wenn man von der Temperatur der Umgebung $\frac{9}{4}$ des Sinkens des Aktinometers abzieht, so findet man die Temperatur des künstlichen Himmels.* Dieses Gesetz auf die Wärme des Himmels angewandt giebt

$$z = t - \tfrac{9}{4} d,$$

wenn t die beobachtete Lufttemperatur und d das Sinken des Aktinometers bezeichnet, als die erforderliche Graduation.

Viele in heiteren und windstillen Nächten angestellte Versuchsreihen bestätigten, daſs die Zenithaltemperatur fast wie die Temperatur der umgebenden Luft sinkt, welches vom Untergange bis zum Aufgange der Sonne statt findend zu einer wichtigen Folgerung führt. Es ist nämlich gezeigt worden, daſs die Zenithaltemperatur von zwei Bedingungen abhängt, der constanten Temperatur des Himmelsraumes und der veränderlichen mittleren der Luftsäule. Da sich nun die Zenithaltemperatur in einer Nacht bedeutend ändert, so folgt hieraus, daſs ihre constante Gröſse nur einen sehr kleinen Werth hat in Bezug auf die veränderliche, und daſs daher die Wärme des Weltraumes nur sehr klein ist verglichen mit der von der Strahlung der Atmosphäre herrührenden.

96) Um die Wärme des Himmelsraumes zu finden, geht Pouillet von einer anderen Grundlage aus. Unter der äquatorischen Zone kann die Oberfläche der Erde, die sie bedeckende Luft mit inbegriffen, als ein Cylinder betrachtet werden, dessen beide Grundflächen die Wendekreise bilden und dessen Hälfte stets durch die Sonne beschienen wird. Dieser Cylinder empfängt in jedem Augenblicke alle die Wärme, welche auf das

Rectangel seiner Projection fällt, dessen Oberfläche = 2rh ist, und er erhält daher in jeder Minute eine Wärmemenge = 1,7633 $\times$ 2rh. Da aber diese Wärme auf die ganze Seitenfläche oder auf $2\pi r h$ vertheilt ist, so empfängt jede Einheit nur

$$\frac{1,7633}{\pi} = 0,56$$

als die Menge der Sonnenwärme, die in jeder Minute täglich auf jedes Quadratcentimeter der Aequatorialzone fällt. Gleichzeitig ist auch die Himmelswärme thätig, und wenn die unbekannte Temperatur des Himmelsraumes durch $t'$ bezeichnet wird, so folgt, dafs die von einem Quadratcentimeter in 1 Minute aufgenommene Wärmemenge = $B a^{t'}$ ist. Diesemnach beträgt die Menge der aufgenommenen Wärme

$$B a^{t'} + 0,56.$$

Es können aber die vereinten Wirkungen des Himmelraumes und der Sonne durch eine einzige Hülle mit Maximum-Emissionsvermögen ersetzt werden, und wenn die unbekannte Temperatur dieser Hülle v heifst, so erhält man

$$B a^{v} = B a^{t'} + 0,56.$$

Diese Temperatur v mufs eine solche seyn, dafs sie an der Oberfläche der Erde in der tropischen Zone die mittlere Temperatur von 27°,5 erzeugt. Der Ueberschufs der Temperatur einer Kugel über die einer ihn einschliefsenden Hülle läfst sich aus der Formel[1]

$$a^{t-t'} = \frac{2-b'}{2-b}$$

ableiten, worin t die Temperatur der Kugel und $t'$ die der Hülle bezeichnet. Da aber hier der Werth von t gegeben ist, so hat man

$$a^{27,5-v} = \frac{2-b'}{2-b}.$$

Nimmt man den hieraus hervorgehenden Werth von v und setzt man für B seinen Werth = 1,146, so erhält man

1 Der Kürze halber habe ich übergangen mitzutheilen, wie Pouillet zu dieser Gleichung gelangt, indem er sich eine Kugel von einer diathermanen Hülle, und diese wieder durch eine Sphäre umgeben denkt; es wird aber hier genügen zu bemerken, dafs b das Absorptionsvermögen bezeichnet, welches die diathermane Hülle gegen die von der Kugel ausströmende Wärme, und b dasjenige, welches dieselbe gegen die von der einschliefsenden Sphäre ausströmende Wärme ausübt.

$$a^t = 1{,}235 \frac{2 - b}{2 - b'},$$

und da die Versuche mit den Sonnenstrahlen im Mittel $b' = 0{,}35$ geben, so erhält man die Endgleichung

$$a^{t'} = 1{,}008 - 0{,}748\, b,$$

worin nur zwei unbekannte Gröſsen sind, $t'$ die Temperatur des Weltraumes und b das Absorptionsvermögen, welches die Atmosphäre auf die irdische Wärme ausübt. Der gröſste Werth von b giebt die geringste Wärme des Weltraumes, und da b nicht gröſser als 1 seyn kann, so kann auch die Temperatur des Weltraumes nicht gröſser als — 175° C. seyn. Für $b' = 0{,}3$ würde man haben — 187° und für $b' = 0{,}4$ bloſs — 164°. Ist dieser geringste Werth von $t'$ einmal gefunden, so ist es nicht schwer, auch den gröſsten zu finden, welcher dem kleinstmöglichen Werthe von b entspricht, und da dieser nicht kleiner als 0,8 seyn kann, so ist die Wärme des Raumes gröſser als — 115°. Zur genaueren Bestimmung des zwischen diesen beiden Grenzen liegenden mehr genäherten Werthes würden viele Versuche unter den verschiedensten Breiten und in ungleichen Höhen erforderlich seyn; inzwischen geben die von Pouillet angestellten schon eine sehr wahrscheinliche Annäherung, nämlich — 142° C., welche einem Werthe von $b = 0{,}9$ zugehört.

97) Als Endresultat dieser Untersuchungen ergiebt sich also, daſs die Sonne der Erde eine Temperatur = 1°,7633 für jede Minute und ein Quadratcentimeter Fläche mittheilt, daſs bei vollkommener Heiterkeit die Atmosphäre hiervon 0,4 dieser Wärme und der Wärme des Raumes entzieht, von der durch die Erde gegebenen aber 0,9, und daſs die Temperatur des Weltraumes gegenwärtig — 142° C. beträgt. Pouillet glaubt, daſs mittelst noch geeigneterer Apparate und durch anhaltende genaue Versuche manche der angegebenen Gröſsen richtiger bestimmt werden könnten. Scheint es gleich, als ob die verschiedenen Regionen des Himmels, die nach einander durch unser Zenith gehen, gleiche Wärmemengen ausstrahlen, so ist doch wahrscheinlich, daſs dieses nur aus der Unvollkommenheit unserer Instrumente folgt, denn die Gruppirung der Sterne ist so ungleich, daſs nothwendig die verschiedenen Hemisphären der hohlen Himmelskugel auch ungleiche Wärmemengen geben

müssen. Zu Untersuchungen dieses Problems würde sich die äquatorische Zone am besten eignen.

98) Weitere Folgerungen, welche aus diesen Untersuchungen hervorgehn, sind, daſs die Menge der Wärme, welche der Himmelsraum der Erde und der Atmosphäre zusendet, fähig seyn würde, während eines Jahres eine Eisdecke von 26 Meter Dicke zu schmelzen, die von der Sonne herkommende vermag aber eine solche von 31 Meter Dicke zu schmelzen, und die Summe beider giebt also die Schmelzung einer Eisdecke von 57 Meter Dicke. Die Wärme, welche vom Weltraume kommt, beträgt also $\frac{5}{6}$ der von der Sonne kommenden. Unter den Tropen beträgt die Wärme des Himmelsraumes nur $\frac{2}{3}$ soviel als die der Sonne, denn daselbst wird die letztere durch eine schmelzende Eisschicht von 39 Meter Dicke dargestellt. Pouillet meint, es müsse auffallen, daſs der Himmelsraum bei einer Temperatur von — 142° der Erde beinahe ebenso viel Wärme zusende, als die Sonne; allein man müsse bedenken, daſs in Beziehung auf die Erde die Sonne nur den 5millionsten Theil des Himmelsgewölbes einnehme, und daher 200000mal mehr Wärme hergeben müsse, um einen gleichen Effect hervorzubringen. Von einer andern Seite betrachtet scheint vielmehr der Einfluſs der Sonne noch zu hoch angegeben; denn ohne diesen würde die überall gleichmäſsige Temperatur des Bodens — 89° seyn, und da die mittlere Temperatur unter dem Aequator 27°,5 beträgt, so wird diese durch die Sonne um 116°,5 erhöhet. Auf gleiche Weise würde ohne den Einfluſs der Sonne die mittlere Temperatur der Luftsäule unter dem Aequator — 149° seyn, und da sie nach den Formeln — 10° gefunden worden ist, so wird sie durch die Sonne um 139° erhöht. Pouillet bemerkt ferner, daſs diese Resultate bedeutend von denen abweichen, die Poisson gefunden hat, indem er die mit der Tiefe zunehmende Bodentemperatur mit in Rechnung brachte, glaubt aber, daſs beide Methoden mehr übereinstimmende Resultate geben würden, wenn man den bedeutenden Einfluſs der Atmosphäre auf eine mehr directe Weise mit in die Formeln aufnehmen könnte. Wollte man endlich den Calcül auf Gegenden unter höheren Breiten anwenden, so müſste man zugleich die mit der Breite abnehmende Bodentemperatur mit berücksichtigen; es sey aber leicht zu übersehen, daſs die Winde die Temperatur der Polarzonen merklich erhöhen, in-

dem sie die der gemäfsigten Zonen nicht wenig vermindern; auf die äquatorische Zone scheinen sie dagegen keinen bedeutenden Einflufs auszuüben.

99) Pouillet entwickelt bei seinen Untersuchungen so vielen Scharfsinn, die Versuche sind mit so zweckmäfsigen Apparaten und so vieler Umsicht angestellt, dafs seine Abhandlung einen ausführlichen, mitunter wörtlichen, Auszug verdiente; auch ist nicht zu bezweifeln, dafs seine Theorie viele Anhänger finden wird, um so mehr, als die Grundlagen derselben in der Hauptsache mit den durch Fourier und Poisson aufgestellten Sätzen übereinstimmen. Unverkennbar stehen ihr aber gewichtige Argumente entgegen, deren einige wir hier beibringen wollen, wobei wir jedoch von der Voraussetzung ausgehen, dafs Pouillet eine eigentliche Emission, einen Ausflufs der Wärme aus der Sonne und den Himmelskörpern annimmt, wie allerdings aus seinen Ausdrücken hervorzugehen scheint. Ist dieses wirklich der Fall, so wird es hiermit ebenso gehn, als mit der älteren Hypothese vom Lichte, die man allseitig abgerundet entwickelt und durch den elegantesten Calcül scheinbar begründet hatte, bis endlich der aus einfacher Ansicht der Sache entnommene Einwurf, dafs ein solches stetes Ausströmen eines unmefsbar elastischen Fluidums naturwidrig sey, obsiegte und der Undulationstheorie den Vorzug verschaffte. Warum wurde mit der Emissionstheorie des Lichts nicht gleichzeitig die der Wärme verworfen? Dieses Argument wird bedeutend gewichtiger, wenn man berücksichtigt, dafs die Emissionshypothese einer andern, noch weniger begreiflichen oder vielmehr naturwidrigen Hypothese einer beständigen vor- und rückwärtsgehenden, aufgehobenen und wieder hergestellten Bewegung bedarf. Die Emission der Wärme soll ohne Unterlafs von der Sonne zur Erde, vom Weltraume zur Erde und wieder rückwärts statt finden, ohne dafs irgendwo die Ursache dieser Bewegung nachgewiesen wird. Die Elektricität kommt zum Gleichgewichte, der Lichtäther ruht, bis er durch die Hitze glühender Körper oder durch sonstige Ursachen in Schwingungen versetzt wird, die Wärme aber soll in steter Bewegung seyn, von der Sonne seltsamerweise mit gleicher Geschwindigkeit, als womit die Lichtwellen fortschreiten, zur Erde gelangen, sich wesentlich gleich bleiben und ohne Licht selbstständig wieder zum Himmelsraume strömen, während sie

von diesem gleichzeitig wieder zur Erde strömt. Ist schon diese Voraussetzung an sich ganz unbegründet, so wird sie noch obendrein ganz naturwidrig, wenn zugleich die Grenze unserer Atmosphäre bis zum absoluten Nullpuncte kalt seyn soll, obgleich nicht bloſs die Wärme der Sonne und des Welt-raumes, sondern auch die von der Erde strahlende unaufhörlich durch sie strömt; denn genau genommen heiſst dieses nichts anderes, als: in der unsere Atmosphäre begrenzenden Sphäre ist stets Wärme vorhanden, aber es ist auch keine vorhanden; vorhanden muſs sie seyn, weil sie hindurchströmt, sie ist aber nicht vorhanden, weil sie sonst den Lufttheilchen Expansion geben, und damit die Grenze der Atmosphäre weiter rücken würde. Die Schwäche dieser Hypothese stellt sich immer mehr heraus, wenn man sie von verschiedenen Seiten beleuchtet. Dasjenige Theilchen des Lichtäthers, welches in einem gegebenen Momente den Sehnerv unseres Auges afficirt, war nicht vor ungefähr 8,5 Minuten noch bei der Sonne, sondern so wie das mit dem Schenkel einer tönenden Stimmgabel in Berührung befindliche Lufttheilchen seinen Ort nicht verläſst, und dennoch dasjenige, welches unser Gehörorgan berührt, gegen letzteres vibrirt, ebenso verläſst auch das bei dem leuchtenden Körper, namentlich der Sonne, befindliche Molecül des Lichtäthers seine Stelle nicht, wohl aber gelangt die durch den Lichtäther fortgehende Undulation zum Nerv des Auges. Nehmen wir eine Emission als Grund der Wärmestrahlung an, so müſste das von der Sonne ausströmende Wärmemolecül muthmaſslich mit gleicher Geschwindigkeit, als womit die Lichtundulationen fortschreiten, die ungeheuren Himmelsräume durchströmen. So lange hierbei das Licht als Vehikel dient, könnte man sich leichter, wiewohl auf keine Weise deutlich, hierin die wirkende Ursache einer solchen Bewegung gegeben denken, allein bei der nächtlichen Strahlung fällt dieses Hülfsmittel weg. Wir dürfen aber bei dieser letzteren, sofern die Wärme von unserer Erde sich erhebt, einen Umstand nicht übersehen, welcher auf keinen Fall gänzlich unberücksichtigt bleiben darf, nämlich die gemeine Fortpflanzung durch Leitung oder secundäre Strahlung und durch Luftbewegung. Man betrachtet den gesammten Wärmeverlust bloſs als Wirkung der Strahlung, allein die später zu erwähnenden Versuche von Dulong und Petit über Wärmestrahlung zeigen evident, daſs bei der An-

wesenheit von Luft eine Fortleitung durch diese an sich und durch die Bewegung ihrer Theilchen gleichzeitig statt findet. Dieses Argument läfst sich zugleich auch gegen die Resultate geltend machen, welche Pouillet vermittelst seines künstlichen Himmels erhielt und die daher nicht als absolut genau gelten können. Melloni und Forbes, welche diesen störenden Einfluſs sorgfältig vermieden, gelangten eben dadurch zu so genauen Gröfsenbestimmungen. Offenbar wirkte bei dem künstlichen Himmel nicht blofs die Strahlung auf das Thermometer, die wir doch bei der wirklichen Himmelssphäre als allein wirksam betrachten, sondern auch die sich bewegende und die aufgenommene Wärme mit sich führende Luft.

Diese Argumente gelten inzwischen zunächst nur gegen eine selbstständige Strömung der Wärme von der Sonne und der Himmelssphäre gegen die Erde und von dieser wieder gegen den heitern Himmel, die hiernach nicht wohl statt finden kann. Von der andern Seite langt aber unverkennbar Wärme mit den Sonnenstrahlen in den Körpern an und wird von diesen sowohl aufgenommen, als auch bleibend festgehalten. Dieses Verhalten ist offenbar von dem der Lichtwellen und der Schallwellen verschieden; die Annahme blofser Undulationen, die für die Erklärung der Lichtphänomene so fruchtbar war, genügt also zur Aufhellung der Wärmelehre nicht, und wir müssen es daher entweder aufgeben, eine befriedigende Theorie hierfür aufzustellen, oder ein anderes Princip aufsuchen, um alle Wärmephänomene unter demselben zu vereinigen; ein Versuch hierzu kann aber erst später gemacht werden, wenn wir die gesammten Phänomene selbst genauer kennen gelernt haben (§. 363).

100) Beiläufig kann hier noch die Frage erörtert werden, ob die Strahlen des vom Monde reflectirten Lichtes Wärme erzeugen, die man wohl ebenso oft bejahet, als verneint hat. Im Allgemeinen läfst sich annehmen, dafs die erzeugte Wärme der Intensität des Lichtes proportional sey, und da nach Bouguer das Licht des Vollmonds 300000 mal schwächer, als das der hellen Mittagssonne ist, so läfst sich nicht wohl eine Concentrirung desselben bewerkstelligen, die ein Steigen des gewöhnlichen Thermometers zu verursachen vermöchte. Dieses ist auch das Resultat der Versuche des de la Hire[1], welcher

---

1 Mém. de l'Acad. 1705. p. 306.

fand, dafs die mittelst eines Spiegels 360 mal concentrirten Mondstrahlen keine Wärme verursachten. Im Widerspruch hiermit will Howard[1] gefunden haben, dafs die mit einem 13zolligen Hohlspiegel aufgefangenen und concentrirten Mondstrahlen das Differentialthermometer allerdings afficiren, ebenso will auch Watt[2] einen erwärmenden Einflufs der Strahlen, nicht sowohl des Vollmonds, als noch mehr der Phasen desselben, auf seinen Apparat wahrgenommen haben. Im Widerspruche hiermit beobachteten Pictet und Prevost[3] vielmehr eine Erkaltung und leiteten diese Ersterer von den höheren kälteren Luftschichten, Letzterer von der Wärmestrahlung ab. Auf jeden Fall ist die erwärmende Kraft des Mondes so gering, dafs man dieselbe wohl nie durch Versuche, die durch anderweitige unvermeidliche Einflüsse bedingt sind, mit Sicherheit auszumitteln im Stande seyn wird; denn wenn dieses möglich wäre, so würden sicher Nobili und Melloni[4] mit ihren feinen Instrumenten ein anderes, als ein negatives Resultat erhalten haben. Mit gröfster Genauigkeit und wohl nicht leicht zu übertreffender Feinheit der angewandten Instrumente hat endlich auch Forbes[5] die Beantwortung dieser lange streitigen Frage versucht. Hierzu bediente er sich nicht nur eines sehr feinen Thermomultiplicators, sondern concentrirte auch die Strahlen durch eine 30 Zoll im Durchmesser haltende Polygonallinse von Soleil in Paris bis zum 6000 fachen, so dafs, wenn die Hälfte für Reflexion, Absorption und Dispersion abgerechnet wird, stets noch eine 3000 fache Concentration übrig bleibt. Ohne die Messungen einzeln zu beschreiben, wird es genügen zu bemerken, dafs er nicht den kleinsten erwärmenden Effect der Mondstrahlen wahrzunehmen vermochte. Wird dieses mit der Grenze der Feinheit zusammengenommen, bis zu welcher die Anzeigen seines Apparates reichten, so führt dieses zu dem Resultate, dafs die directen Mondstrahlen nicht ein Dreimalhunderttausendstel eines hunderttheiligen Thermometergrades Wärme

---

1 Silliman Amer. Journ. of Sc. T. II. p. 329.
2 Edinburgh New Phil. Journ. N. IX. p. 325.
3 Biblioth. univ. T. XIX. p. 35.
4 Poggendorff's Ann. XXVII. 449.
5 On the Refraction and Polarisation of Heat. p. 7. In Edinb. Phil. Tr. T. XIII.

zu erzeugen vermögen, wonach also dieses Problem wohl für immer als entschieden zu betrachten seyn dürfte.

## 2) Wärmeerzeugung durch Zusammendrückung und Reibung.

Ein zweites, sehr bekanntes Mittel der Wärmeerzeugung ist die Zusammendrückung fester und expansibeler Körper, das Reiben, Biegen, Zerreiben der Metalle und Hölzer, das Pressen der Münzen und Medaillen, das Schleifen, Reiben, Klopfen und die ganze Summe dieser ähnlichen Processe. Um die verschiedenen hierher gehörigen Erscheinungen, wovon nur die bedeutendsten Erwähnung verdienen, gehörig zu sondern, wollen wir zuerst die starren Körper berücksichtigen.

101) Werden *starre Körper*, im Gegensatze der tropfbar- und elastisch-flüssigen, gedrückt oder gerieben, so erfolgt stets Erwärmung. Dieses fühlt man sofort, wenn man einen hölzernen Stab, einen Metalldraht oder selbst ein Band, ein Seil, einen Faden u. s. w. schnell durch die Hand zieht. Maschinentheile erhitzen sich, ebenso Wagenaxen beim schnellen Fahren, wenn ihre Flächen nicht in Folge geeigneter Schmiere leicht über einander hingleiten. Ein Beispiel dieser Art zeigt die Kurbel eines Dampfschiffes, welche neu gemacht war und sich durch die Bewegung glatt reiben sollte, dabei aber bis zum Rothglühen erhitzt wurde und mit mehreren aufgegossenen Kübeln Wassers wieder abgekühlt werden mufste. Wird ein Stück Holz auf einer Drehbank schnell umgedrehet und ein anderes dagegen gedrückt, so tritt Verkohlung beider ein, es entwickelt sich Rauch und der Geruch verräth beginnende Verbrennung; jedoch ist es unmöglich oder mindestens sehr schwierig, auf diese Weise eine Entzündung hervorzubringen oder Feuer anzumachen, weil die erhitzten und zuletzt wirklich verkohlten Theile stets abgerieben werden. Weit praktischer für diesen Zweck sind die Methoden der wilden Völker, durch dieses Mittel Feuer anzuzünden, dessen sie sich in Ermangelung unserer bequemeren Vorrichtungen zu diesem Zwecke ausschliefslich bedienen[1]. Einige Wilde in Brasilien, namentlich die *Coroatos*, nehmen hierzu zwei getrocknete Holzstäbchen, unge-

---

1 Kotzebue's Reise. Th. II. S. 78. Th. III. S. 154. Burchel's Reise. Th. II.

fähr einen Finger dick, das eine versehen sie mit Vertiefungen, dem andern geben sie eine Spitze, stecken letzteres in das hohle Rohr eines Pfeiles, stemmen die Spitze in eine der Vertiefungen und drehen das obere Ende schnell, wie einen Quirl, zwischen den Händen, wodurch Schabsel in der Grube entsteht. Dieses wird erst braun und fällt zum Theil herab, zuletzt aber entzündet es sich und wird zur brennenden Kohle[1]. Aehnliche Stäbe sah Campbell[2] bei den Betschuanen in Africa, die sich derselben als eines gewöhnlichen Feuerzeuges bedienten. Auch die Neuholländer in King-George's Port machen dadurch Feuer an, dafs sie zwei Hölzer an einander reiben, bis eine Verkohlung und zuletzt eine wirkliche Entzündung entsteht[3], nicht minder die Bewohner von Tahaity, welche das eine der Hölzer gegen die Brust stemmen und mit dessen unterem Ende in dem zweiten eine Furche erzeugen, worin sich feine abgeriebene Holztheilchen sammeln, die sich durch starkes Reiben erhitzen und endlich entzünden[4]. Sehr lange bekannt ist, dafs sich die Araber gleichfalls dieses Mittels bedienen, bei denen die gebrauchten Hölzer eigne Namen haben, *March* und *Aphar*, auch beide zusammen *Zabdan* (die Reiber)[5]. Dafs endlich diese Methode auch den Alten bekannt war und sie sich derselben bedienten, unterliegt nach glaubhaften Zeugnissen keinem Zweifel[6]. Es ist daher die grofse Hitze gar nicht zu bewundern, welche die Hemmschuhe annahmen, wenn sie auf Blackfriar's Brücke unter den Rädern schwerer Lastwagen geschleift wurden[7]. Hierher gehört auch die Methode, Glasröhren oder Stäbe abzusprengen, indem man einen Bindfaden um sie schlingt und diesen durch Bewegung der Röhre stark an ihnen reibt, sie dadurch partiell erhitzt und dann auch wohl durch einen Wassertropfen abkühlt, denn wenn der durch die Harpune getroffene Wallfisch sich schnell in die Tiefe stürzt und das über den Bord des Kahnes gleitende Seil mit grofser Geschwindigkeit nach sich zieht, so mufs diese Stelle stets mit Was-

---

1 Eschwege Journal von Brasilien. Weim. 1818. Ht. I. S. 149.
2 Reise in Africa. Weim. 1823. S. 87.
3 Dumont d'Urville Voyage.
4 Kotzebue Neue Reise um die Welt. Weim. 1830. S. 118.
5 J. D. Michaelis verm. Schriften. S. 97.
6 Plinius H. Nat. Lib. XVI. cap. 40.
7 Ann. of Philos. N. S. T. VII. p. 142.

ser begossen werden, damit keine Entzündung entsteht, da ohnehin durch den aufsteigenden Rauch oft das ganze Boot eingehüllt wird. Wedgwood[1] bemerkte, dafs ein Stück Fensterglas, an einer Scheibe zum Schleifen bei verstärktem Drucke gerieben, an der berührenden Stelle bis zum Rothglühen erhitzt wurde und Funken sprühete, die Schiefspulver zu zünden vermochten. Dahin gehört auch das *Entzünden der Kohlen*, namentlich der weichen von Faulbaumholz, durch Reiben[2], welches Cossigny im Jahre 1780 bei einer Pulvermühle auf Isle de France wahrnahm; auch gelang es ihm, Kohlenpulver durch starke Hammerschläge in Brand zu setzen, weswegen man die Bestandtheile des Schiefspulvers einzeln zu zermalmen pflegt. Noch neuerdings entzündete sich, nach einer Erzählung von Moritz Meyer[3], zu Lüttich die auf einem horizontalen Marmorblocke geriebene Kohle unter dem Läufer.

102) Auf gleiche Weise, als beim Reiben, wozu auch das Schleifen gehört, wird Wärme durch schnelle Zusammendrückung fester Körper, z. B. in einem Schraubstocke oder beim Prägen der Münzen entwickelt. Auch weiche Körper, als Leder, Holz, Leinen, Wollenzeug, trockne Pflanzenstoffe u. s. w., erhitzen sich durch starkes Hämmern, vorzugsweise aber Metalle. Sehr interessant in dieser Beziehung ist die Erzählung Nettelbeck's[4], dafs einst die gesammte Schiffsmannschaft mit ihm zwei volle Tage ohne Feuer und künstliches Licht hinbringen mufste, weil im Sturme alle Gegenstände durchnäfst waren, und dafs ihn nachher ein gemeiner Schmidt belehrte, man dürfe nur mit einem Hammer die Spitze eines Nagels auf einer harten Unterlage stark schlagen und schnell an Schwefel halten, um letzteren zum Brennen zu bringen. Als wissenschaftliche Versuche zur Bestimmung der Wärmemenge, die durch schnelle und starke Zusammendrückung erzeugt wird, sind mir blofs die durch Berthollet[5] angestellten bekannt. Hierzu bediente er sich einer zur Münze gehörigen Prägemaschine mit Balancier und prefste vermittelst derselben geeignete

---

1 Philos. Trans. 1792. p. 45.

2 Von der Selbstzündung des Kohlenpulvers als pyrophorischer Substanz wird später die Rede seyn.

3 Poggendorff's Ann. XX. 620.

4 Dessen Lebensbeschreibung. Th. II.

5 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 441.

Metallscheiben, warf sie dann sogleich in Wasser und bestimmte aus dessen Temperaturzunahme die Menge der erzeugten Wärme. Es ergab sich hieraus, dafs selbst durch starke Pressung bei weitem nicht so grofse Hitze, als durch Reiben erzeugt wird, und dafs die erhaltene Quantität bei fortgesetzten Pressungen des nämlichen Stückes abnimmt, vermuthlich bis zum gänzlichen Verschwinden. So betrug die Wärmevermehrung bei zwei Stücken Kupfer

| | | |
|---|---|---|
| beim ersten Stofse | 1. Stück . . . . | 9°,69 |
| | 2. Stück . . . . | 11,56 |
| beim zweiten Stofse | 1. Stück . . . . | 4,06 |
| | 2. Stück . . . . | 2,50 |
| beim dritten Stofse | 1. Stück . . . . | 1,06 |
| | 2. Stück . . . . | 0,81 |

im Ganzen also beim ersten Stücke 14°,81, beim zweiten 14°,87, bei beiden also bis zur unvermeidlichen Fehlergrenze gleichviel. Nicht ganz so genaue Gleichheit gaben zwei Stücke Silber, nämlich 8°,19 und 6°,37 C. Hiernach gab aufserdem Kupfer mehr Wärme als Silber und dieses mehr als Gold. Uebereinstimmend hiermit wurde das spec. Gewicht der Metalle durch das Pressen ungleich vermehrt, beim Golde von 19,2240 zu 19,2357; beim Silber von 10,4667 zu 10,4838; beim Kupfer von 8,8529 zu 8,9081. Berthollet schliefst hieraus, dafs die erhaltene Wärme eine Folge verminderter Wärmecapacität der Körper sey. Wird Eisen oder Stahl auf einem Sandsteine stark geschliffen, so reifsen sich kleine Stückchen des Metalles los und verbrennen beim Fortfliegen durch Aufnahme von Sauerstoffgas aus der Luft in Folge der starken Erhitzung, die in den kleinen Stückchen vorzugsweise gesteigert wird[1]. Diesem ähnlich sind die Funken des Stahls beim gewöhnlichen Feuerschlagen, indem dann gleichfalls die feinen abgerissenen Stahltheilchen in der Luft verbrennen. Hiernach können diese Splitter im luftleeren Raume nicht zum Verbrennen kommen und daher auch das Schiefspulver nicht entzünden, denn obgleich sie einen bedeutenden Grad von Wärme erhalten, so werden sie doch, ehe sie das Schiefspulver erreichen, zu sehr

1 Auch beim Schleifen des Glases, besonders auf trocknen Steinen, bemerkt man Lichtfunken und Lichtscheine, die aber eine Folge der Phosphorescenz seyn dürften.

abgekühlt, als dafs sie dasselbe entzünden könnten. Nach Davy's[1] Versuchen könnte man übrigens schliefsen, dafs sie durch das blofse Abschlagen bis zur Glühhitze gebracht würden, weil sie auch im Vacuum einen Lichtschein verbreiten; es ist jedoch wahrscheinlich, dafs dieser blofs Folge des Phosphorescirens des Quarzes sey, denn die schärfsten Feuersteine geben ihn am stärksten, bei Schwefelkiesen dagegen, wenn diese den Feuerstein ersetzen, fehlt derselbe. Nicht blofs diesen Lichtschein, sondern selbst leuchtende Funken geben auch zwei an einander geschlagene Feuersteine oder Quarzstücke, ungeachtet dabei kein verbrennlicher Körper vorhanden ist. Die abgerissenen, auf weifsem Papiere aufgefangenen, kleinen Stückchen erscheinen schwarz beschlagen, was man davon ableitet, dafs sie beim Glühen die in der Luft vorhandenen brennbaren Theilchen verkohlen sollen; allein da sich die Funken auch beim Zusammenschlagen unter Wasser zeigen[2], so kann hierin die Ursache nicht liegen, sondern die Schwärzung ist vielleicht aus optischen Gründen zu erklären. Dafs übrigens auch hierbei grofse Hitze erzeugt werde, ist nicht zu bezweifeln, da die Einwohner auf Unalaschka Feuer anzünden sollen, indem sie die Funken der an einander geschlagenen Quarzstücke, die vorher mit Schwefel bestrichen sind, in trocknem Grase auffangen[3].

103) Der Theorie nach sollte man schliefsen, dafs auf gleiche Weise, als durch Zusammendrückung fester Körper Wärme entwickelt wird, durch ihre Ausdehnung Kälte entstehen müsse, und das Verhalten expansibeler Flüssigkeiten unterstützt diesen Schlufs; dennoch aber zeigt die Erfahrung das Gegentheil. Werden Stangen, Drähte u. s. w. schnell zerbrochen, wenn man insbesondere einen Eisendraht durch schnelles Hin- und Zurückbiegen zum Abreifsen bringt, so entsteht allezeit Wärme, und namentlich zeigen sich die abgerissenen Enden eines Eisendrahtes unter geeigneten Bedingungen durch Hitze blau angelaufen. Legt man einen Streifen Federharz an die Lippe oder an einen empfindlichen Theil des Gesichts und dehnt man ihn durch plötzliches Anziehen seiner beiden Enden

1 Bibliothèque Brit. T. XXII. p. 335.

2 Benj. Scholz Anfangsgründe d. Physik. 3. Aufl. Wien 1827. S. 504.

3 Billing's Expédition dans le Nord de la Russie. Par Sawer. p. 159.

stark aus, so wird Wärme empfunden[1]. Inzwischen ist dieses Verhalten den Naturgesetzen keineswegs zuwider. Durch solche Ausdehnungen wird auf jeden Fall eine Reibung der Theile an einander bewirkt, weswegen auch Barlow[2] die beim Zerreifsen der Eisendrähte entstehende Wärme aus einer Reibung der inneren Theile ableitet; allein aufserdem ist die Ausdehnung, absolut genommen, nur scheinbar, indem zwar eine Verlängerung der Körper, keineswegs aber eine allgemeine gröfsere Entfernung ihrer Molecüle eintritt; überhaupt aber ist dieser Procefs, in Beziehung auf das stabile Gleichgewicht der Molecularkräfte betrachtet, ein sehr zusammengesetzter, insofern ein durch Gewichte beschwerter Draht sich ausdehnt, also an Gröfse seines Querschnittes abnimmt, aber dennoch der ihn zum Abreifsen bringenden Kraft einen stets zunehmenden Widerstand entgegensetzt[3].

104) Aufser diesen zahlreichen Erfahrungen über Wärmeentwickelung durch Reiben giebt es noch eine Menge für wissenschaftliche Zwecke angestellte Versuche. Zu den bereits erwähnten von Rumford[4] und Davy gehören vorzüglich noch die von Pictet[5] angestellten, welcher die durch Reiben erzeugte Wärme aus einer Zersetzung der Luft ableiten wollte, weil er die vom Stahle abgerissenen Partikeln im luftleeren Raume nicht so verbrannt sah, als im lufterfüllten. Er richtete daher einen Apparat so ein, dafs kleine Schalen sich durch ein Uhrwerk gedrehet an verschiedenen Substanzen mit ungleicher Geschwindigkeit rieben, ein Thermometer aber, welches in die Vertiefung der Schälchen hinabreichte, ohne deren Fläche zu berühren, das Mafs der erzeugten Wärme angab, und da die

1 Thomson System cet. T. IV. p. 197.

2 Annals of Philos. T. X. p. 311.

3 Lagerhjelm bemerkt, dafs sich Wärme aus abgerissenen Eisenstangen entwickelt, und dennoch geht ihr spec. Gewicht von 7,821 bis 7,777 herunter, wonach also keine Vermehrung der Dichtigkeit statt findet. Berzelius Jahresbericht Th. VIII. S. 77. Vergl. Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 384. Die Verminderung des spec. Gew. würde wohl zweifelsohne noch gröfser seyn, wenn alle Theile durch die mechanische Gewalt mehr von einander entfernt und nicht auch einige genähert würden.

4 Vollständig mitgetheilt nebst Zeichnungen der gebrauchten Apparate in Scherer's Journ. Th. I. S. 1.

5 Versuch über das Feuer. Tüb. 1790. Cap. 9. S. 184.

ganze Vorrichtung sich unter den Recipienten einer Luftpumpe setzen liefs, so konnte der Einflufs der Luft bequem dadurch ausgemittelt werden. Hierbei sah Pictet, als eine Schale von Stahl an einem Stück Corund gerieben wurde, in der Luft ein stetes Funkensprühen, in 84mal verdünnter Luft aber nur im Dunkeln einen phosphorischen Schein; das Thermometer zeigte keine Wärme. Als aber bei einem zweiten Versuche eine Messingschale an Messing gerieben und die Thermometerkugel tiefer in die Schale hinabgedrückt wurde, stieg das Thermometer in der Luft erst nach beendigter Reibung, in 28mal verdünnter Luft aber schon während des Reibens. Als Messing an Holz gerieben wurde, stieg das Thermometer höher, und noch mehr, als Holz sich an Holz rieb, mehr aber im luftverdünnten, als im lufterfüllten Raume. Weit stärkere Entwickelung von Wärme zeigte sich, als die Schale nicht selbst gerieben wurde, aber etwas Baumwolle enthielt, die sich mehr oder minder stark an der Thermometerkugel selbst rieb, und stets war im luftverdünnten Raume die Wärme am gröfsten.

105) Haldat[1] beabsichtigte, die durch Rumford angestellten Versuche unter veränderten Bedingungen und mit verschiedenen Modificationen zu wiederholen, weswegen auch die geriebenen Körper in seinem Apparate eine gewisse Quantität Wasser erwärmten. Inzwischen gesteht er selbst, dafs die grofse Dunkelheit, welche diese Aufgabe umhüllt, durch seine Bemühungen keineswegs aufgehellet worden sey, obgleich sie allerdings dazu dienen, die Thatsachen genauer festzustellen. Vor allen Dingen bestätigen sie die unerwartet grofse Menge von Wärme, welche durch Reibung entwickelt wird und sehr von der Beschaffenheit der geriebenen Körper abhängt, aber nicht von ihrer Dichtigkeit, denn Blei gab weniger Wärme als Zink. Dagegen ist die Zunahme des Druckes von grofsem Einflufs; wider Erwarten aber gab feilenartig rauh gemachter Stahl, auf Kupfer gerieben, obwohl eine beträchtliche Menge vom letzteren Metalle abgerieben wurde, kaum halb so viel Wärme, als Stahl mit schlichter Oberfläche, und ebenso gab das Plattschla-

1 Journal de Physique. T. LXV. p. 213. Nicholson's Journ. T. XXVI. p. 30. Vergl. §. 14., wo diese Versuche bereits erwähnt worden sind.

gen eines Drahtes mit einem Hammer weniger Wärme, als das einfache Reiben. Haldat wirft die Frage auf, warum die Metalle, wenn sie beim Zusammendrücken viele Wärme (aus ihren Poren?) hergeben, diese bei ihrer Wiederausdehnung nicht wieder verschlucken? Die Erfahrung ist dagegen, indem gerade das elastischere Zink die gröfsere Hitze erzeugte, und dann bliebe die grofse Menge der durch blofses Reiben hervorgerufenen Wärme immer noch durchaus räthselhaft (§. 14).

106) An diese Versuche lassen sich zunächst die von J. Morosi[1] anreihen, welcher gleichfalls einen hölzernen Cylinder an verschiedenen Metallen reiben liefs und die dem Wasser dadurch mitgetheilte Wärme mafs. Da die absolute Menge des angewandten Wassers nicht angegeben ist, so sind die erhaltenen Resultate nur unter sich vergleichbar. Hieraus ergiebt sich dann, dafs Holz an verschiedenen Metallen gerieben unter gleichen Bedingungen fast gleiche Mengen von Wärme giebt, Blei aber auffallend mehr als die übrigen, Stahl mehr als Eisen. Im Ganzen folgten die Metalle vom ergiebigsten zum mindest ergiebigen in folgender Ordnung: Blei, Zink, Stahl, Messing, Kupfer, Eisen, Zinn. Durch Vermehrung des Druckes von 2 ℔. zu 4 ℔. wuchs die Wärmeerzeugung zwischen 1 zu 1,15 bis 1 zu 1,52.

107) Die neuesten beachtenswerthen Versuche über Reibung sind durch Becquerel[2] angestellt worden, welcher nicht blofs die geringsten Wärmeerzeugungen aufzufinden strebte und sich dazu einer thermoelektrischen Säule bediente, die für 0°,01 noch eine merkliche Abweichung der Magnetnadel gab, sondern auch das gleichzeitige elektrische Verhalten der geriebenen Körper zu bestimmen suchte. Diesemnach befestigte er die geriebenen Körper an isolirenden Glasstangen und prüfte dann zugleich die erzeugte Wärme und Elektricität. Zu besserer Vergleichung war die Dauer und Stärke der Reibung jederzeit gleich. Von welcher Art die geriebenen Körper seyn

1 Poggendorff's Ann. XII. 195. Entnommen aus Bullet. univ. des Sciences. Sect. 1. T. V. p. 36. Ursprünglich beschrieben in: Alcuni Sperimenti cet. Milano 1822. 4. Vergl. Biblioth. univ. T. XXII. p. 91.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 324. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 368. Vergl. l'Inst. VI. Ann. N. 248. p. 319.

mochten, so erreichte die Nadel, wenn ihre Abweichung nicht über 60 Grade betrug, stets in 10 Sec. ihr Maximum, betrug sie von 60 bis 75 Grade, in 9,5 Sec., betrug sie aber von 75 bis 90 Grade, in 9 Secunden. Becquerel betrachtet hiernach die Oscillationen der Magnetnadel wie Pendelschwingungen, mit dem Unterschiede, dafs bei der Wirkung der Schwere die gröfsern Oscillationen einer längern, hier aber einer kürzern Zeit zugehören. Werden zwei Körper mit ungleichen Oberflächen an einander gerieben, so erhält mit zunehmender Stärke bei schnellerer Reibung[1] die rauhe Fläche die gröfste Wärme, z. B. wenn zwei Glasscheiben, die eine mit polirter, die andere mit mattgeschliffener Fläche an einander gerieben werden, so zeigt die mattgeschliffene mehr Wärme; ebenso zwei Korkscheiben, deren eine rauh, die andere glatt ist. Bei ungleichen Körpern ist die Sache verwickelter, z. B. polirtes Glas an Kork gab Wärme im Verhältnifs von 34 zu 5 des ersteren zum letzeren, mattgeschliffenes Glas an Kork von 40 zu 7; Silber und Kork von 50 zu 12; Federharz und Kork von 29 zu 11. Ein allgemeines Gesetz läfst sich daher nicht aufstellen, weil sowohl die Natur der Substanz, als auch die Beschaffenheit der Oberfläche Einflufs haben.

108) Rücksichtlich der Theorie dieser Erscheinungen geht Becquerel von der unter den Gelehrten, namentlich den französischen, gangbaren und wohl allein richtigen Ansicht aus, dafs die Wärme, als repulsives Princip, unter dem Einflusse der Attraction der Molecüle steht, an sich aber und gegen ihre eigenen Molecüle repulsiv wirkt, daher durch alles dasjenige erregt werden mufs, was das stabile Gleichgewicht der Molecüle gegebener Körper afficirt. Als Beispiel führt er an, dafs eine Zusammensetzung aus 1 Th. Eisen und 2 Th. Antimon gefeilt eine Menge Funken giebt, also eine ähnliche Erscheinung zeigt, als das Feuerzeug. Zugleich aber sucht er die Sache mit in das Gebiet der Elektricität zu ziehn, weil die Erfahrung zeigt, dafs die Veränderung der Lage der Molecüle sowohl Wärme, als auch Elektricität frei werden läfst. Zwischen beiden mufs daher nach seiner Ansicht ein Zusammenhang statt finden; aber es ist schwer, diesen aufzufinden, na-

---

1 Nach Morosi wächst die erzeugte Wärmemenge weniger durch vermehrte Schnelligkeit der Reibung, als durch verstärkten Druck.

mentlich sofern man noch nicht weiſs, welches von beiden dem andern vorausgeht. Vermuthlich entspringt aber, wie er meint, die Wärme aus der Elektricität, wenn beide Körper von gleicher Natur, schlechte Wärmeleiter und bloſs durch die Beschaffenheit ihrer Oberflächen verschieden sind, wobei dann die sich am stärksten erhitzende Oberfläche negative Elektricität annimmt. Bei ungleichen Körpern hält Becquerel die Bestimmung für sehr schwierig, was übrigens ein sehr gewichtiges Argument gegen die Zulässigkeit der Hypothese ist, die sich im Fall ihrer Richtigkeit den verschieden modificirten Phänomenen leicht müſste anpassen lassen. Einige Aufklärung glaubt er aus der Phosphorescenz der Körper entnehmen zu können, sofern alle Ursachen, welche diese erzeugen, auch Elektricität hervorrufen sollen. Man dürfe demnach die Phosphorescenz von einer unendlichen Menge kleiner elektrischer Funken ableiten, welche die Molecüle der Körper geben. Dieses gehe auch aus Ehrenberg's Versuchen hervor, welcher aus den phosphorescirenden Seethierchen lauter kleine Fünkchen entspringen sah. Hiermit wird der Umstand in Verbindung gebracht, daſs das Leuchten als bedingt durch die Willkür der Thierchen erscheint, wenn sie gereizt werden, analog den elektrischen Schlägen der Fische. Becquerel dehnt dieses so weit aus, daſs nach Berzelius und Andern das Licht beim Verbrennen der Körper das Resultat einer unendlichen Menge frei werdender elektrischer Funken seyn soll. Hiernach wäre also die Elektricität, die Wärme und das Licht aus einer gemeinschaftlichen Quelle, einem gewissen Aether, abzuleiten. Es dürfte sich indeſs kaum der Mühe lohnen, die vielen Argumente aufzuzählen, welche dieser Hypothese entgegenstehn, denn so leicht es auch ist, die drei Inponderabilien, die ihrer Wesenheit nach groſse Aehnlichkeit mit einander haben müssen, gleichartig zu nennen, weil die Erscheinungen, die sie uns darbieten, viel zu zahlreich sind, als daſs eine solche Hypothese nicht durch einige scheinbare Analogieen unterstützt werden könnte, so wird doch dadurch gar nichts gewonnen, weil uns noch keiner von diesen ätherischen Stoffen seiner eigentlichen Beschaffenheit nach bekannt ist und daher bei einem Erklärungsversuche dieser Art allezeit ein dunkles Etwas auf ein nicht minder dunkles zurückgeführt wird. Auf der andern Seite aber wachsen die Schwierigkeiten bedeutend, indem

nicht blofs die Erscheinungen, welche eine jede dieser ätherischen Flüssigkeiten zeigt, auf allgemeine Gesetze zurückzuführen sind, sondern dann noch obendrein die bedeutend heterogenen Aeufserungen derselben, wie sie sich bei allen dreien unverkennbar herausstellen, ein einziges allgemeines Princip als gemeinschaftliche Grundlage erfordern. Namentlich dürfte es doch kaum möglich seyn, den unverkennbaren Unterschied der positiven und negativen Elektricität mit den einfachen Undulationen des Lichtäthers zu vereinigen. Wie leicht es übrigens sey, solche Hypothesen mit einigem Scheine hinzustellen, davon giebt unter andern T. Graham[1] ein auffallendes Beispiel. Ihm ist die Wärme entweder im Zustande mit starker Kraft verbundener Bewegung als strahlend vorhanden, oder im Zustande des Gebundenseyns als Oberflächenwärme (*superficial heat*). Beim Reiben soll die letztere in die erstere verwandelt werden, wobei zugleich noch andere aus der Umgebung zufliefst. Durch Anhäufung oder Mangel dieser Oberflächenwärme sollen dann zugleich die elektrischen Erscheinungen hervorgerufen werden.

109) Es dürfte bei weitem nicht so schwierig seyn, als man bisher geglaubt hat, die Wärmeerzeugung durch Reiben, Schlagen und Pressen fester Körper zu erklären, sobald man sich erlaubt, die oben aufgestellte Hypothese von den Undulationen des Wärmeäthers darauf anzuwenden, und diese gewinnt offenbar an Wahrscheinlichkeit um so mehr, je leichter sich nach ihr die verschiedensten Wärmephänomene der Erklärung fügen. Die grofse Schwierigkeit, woher die grofse Menge der erzeugten Wärme ihren Ursprung nehme, fällt hiernach von selbst weg, und ist ebenso nichtig, als wenn man sich abmühen wollte, den Ursprung und die Ursache der mechanischen Bewegung der als neu hinzukommend betrachteten Luftmassen aufzufinden, welche bei erzeugtem Schalle massive Mauern erbeben machen. Ebenso wird auch bei den genannten Processen die Wärme der erhitzten Körper nicht direct vermehrt, wohl aber in Undulationen versetzt, und zwar nicht blofs die des einen geriebenen Körpers, sondern beider, obgleich nach ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit in ungleicher Stärke. Diese Undulationen theilen sich den benachbarten Körpern mit, deren Wärmestoff dann gleichfalls an diesen Schwingungen Theil

1 New Annals of Phil. T. XII. p. 260.

nimmt, weswegen die vermeintliche Wärmequelle eine unerschöpfliche seyn mufs. Diese Erklärung läfst sich übrigens den Thatsachen noch genauer anpassen, und Becquerel war allerdings auf dem richtigen Wege, als er die Wärmeerzeugung durch Reiben auf das stabile Gleichgewicht der Molecularkräfte zurückzuführen suchte. Wir dürfen bei diesen, wie bei so vielen andern Erscheinungen, von dem unbestreitbaren Hauptsatze als einer sichern Grundlage ausgehn, dafs die Molecüle der Körper durch den Conflict der Attractions- und Repulsionskraft im stabilen Gleichgewichte gehalten werden, und dafs diese Repulsivkraft, wenn sie nicht lediglich durch den Wärmestoff gegeben wird, doch sehr von ihm abhängt, sofern dieser, mit Abstofsung seiner Elemente versehn, durch die Molecüle der Körper angezogen, zugleich aber auch, unter geeigneten Bedingungen, von ihnen wieder getrennt wird. Hieraus folgt von selbst, dafs alles, was die Attraction der Molecüle afficirt, auch auf die abstofsende Wärme einen Einflufs haben und nach der Natur expansibeler Flüssigkeiten den Wärmeäther ebenso in schwingende Bewegung setzen mufs, als der Stofs eines festen Körpers gegen ruhende Lufttheilchen die sich fortpflanzenden Undulationen in dieser elastischen Flüssigkeit erzeugt. Die Schallwellen, deren genauere Kenntnifs uns so grofsen Vorschub bei der Erklärung der optischen Erscheinungen geleistet hat, können uns auch zur klarern und richtigern Einsicht der Wärmephänomene verhelfen. Sobald feste Körper einander bis auf verschwindende Entfernung genähert werden, was wir Berührung nennen, so mufs zwischen den sich berührenden Theilchen die Anziehungskraft thätig und dadurch schon von selbst die durch sie im Gleichgewicht gehaltene repulsiv wirkende Wärme afficirt werden. Die somit erzeugten Undulationen des Wärmeäthers müfsten sich sofort durch die gesammte Masse der Körper fortpflanzen, wenn nicht die Wärme durch ihre Anziehung gegen die Molecüle der Körper zu sehr gebunden wäre; an der Grenze der berührenden Flächen ist aber diese Anziehung weit schwächer, und die Schwingungen treten daher nicht blofs leichter ein, sondern verbreiten sich auch von hier aus in das Innere der Körper, wenn die Bedingungen hierzu günstig sind. Wird daher ein fester Körper gestofsen, geschlagen oder zusammengedrückt, so treten die Oscillationen seines Wärmestoffes momentan ein. Am deut-

lichsten zeigt Nettelbeck's erwähnte Erfahrung und die von Billing erzählte Methode des Feuerschlagens auf Unalaschka die momentane Wärmeentbindung, welche den leicht entzündlichen Schwefel zum Brennen bringt, wohin auch das Feuerzeug im Allgemeinen gehört. Ungeachtet dieser momentan grofsen Hitze giebt aber die Compression aus leicht begreiflichen Gründen nicht so viel Wärme, als das Reiben, wie auch nothwendig daraus folgt, dafs eben beim Reiben die Attraction zwischen den sich berührenden Theilchen beider Körper in jedem verschwindend kleinen Zeitmomente eingeleitet und wieder aufgehoben wird, wodurch dann die Vibrationen des der Attractionskraft entgegenwirkenden Wärmestoffs nothwendig bedingt werden. Sofern aber die durch Reiben erzeugte Wärme das Resultat der Undulationen des Wärmeäthers ist, welcher zunächst den Oberflächen der geriebenen Körper zugehört, die sich dann zunehmend weiter in das Innere derselben fortpflanzen, bleibt es fraglich, ob eben in Folge dieser Wellenbewegung der Wärmestoff sich aus den entferntern Theilen der Körper dahin zieht, wo diese Vibrationen statt finden, wozu allerdings einiger Grund vorhanden ist. Uebrigens zeigt die Unmöglichkeit, diese Frage bestimmt zu beantworten, dafs die Theorie der Wärme auch bei der Annahme von Wellenbewegungen eines Wärmeäthers noch immer in Dunkel gehüllt bleibt, vorzüglich wenn man berücksichtigt, dafs die durch Reiben erzeugte Wärme den Körpern bleibend inhärirt.

110) *Tropfbare Flüssigkeiten* widerstehn jeder zusammendrückenden Gewalt so sehr, dafs ihr Volumen selbst durch starken Druck nur wenig vermindert und zugleich keine mefsbare Quantität Wärme erzeugt wird[1]. Die, so viel mir bekannt, noch nicht aufgefundene Ursache dieser Abweichung von der allgemeinen Regel dürfte darin zu suchen seyn, dafs gerade bei flüssigen Körpern das stabile Gleichgewicht beider Kräfte auf eine eigenthümliche Weise statt findet, indem bei ihnen die repulsiv wirkende Wärme in einem hohen Grade

---

1 S. Colladon und Sturm in Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 225. Vergl. *Schall.* Bd. VIII. S. 489. Die dort erwähnten Versuche sind entscheidend, und die erzeugte Wärme mufs ausnehmend gering seyn, obgleich Desbaignes sie wahrgenommen und gemessen haben will. S. Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 141.

angehäuft ist, sofern jedes Molecül sich in jeder Lage zu den umgebenden im Gleichgewichte befindet. Jeder angewandte Druck wirkt daher nicht auf einzelne Molecüle, um sie den angrenzenden mehr zu nähern, wodurch dann, indem die Kräfte ihr Gleichgewicht wieder herzustellen streben, die Wärmeoscillationen entstehn, sondern der Druck pflanzt sich durch die gesammte Masse gleichmäfsig fort und die Gegenwirkung der unendlich vielen, gleichzeitig in Conflict kommenden Molecüle macht eine stärkere Annäherung derselben und ein Ausscheiden von Wärme unmöglich. Wird ihnen dagegen ein Theil Wärme entzogen, so dafs hierdurch die Molecüle einander näher kommen, so nehmen sie eine andere gegenseitige Lage an und Wärme wird frei. Dieses zeigt sich überhaupt bei allen Erscheinungen des *Gestehns* oder *Gefrierens*, und insbesondere auch beim Coaguliren des Blutes. Letztere Thatsache ist schwer zu ermitteln; denn da beim Versuche die Wärme des Blutes die der Umgebung übertrifft, so hindert die allmälige Abkühlung sehr die Genauigkeit der feinen Messungen. Inzwischen giebt schon Fourcroy[1] an, dafs das Gestehn des Ochsenblutes 5° Wärme erzeugt habe. Hunter[2] gelangte durch seine Versuche mit Blute von einer Taube zu einem gleichen Resultate; am entscheidensten aber sind die Erfahrungen von Gordon[3]. Als das Blut aus der Arterie eines Hundes, in einem Becher aufgefangen, an der Oberfläche zu coaguliren anfing, wurde mit einem empfindlichen Thermometer jedesmal eine Minute lang zuerst die Temperatur des obern coagulirenden und dann des untern Theiles gemessen; die Temperatur des Zimmers war 7°,8 C. Im obern Theile zeigte das Thermometer 34°, im untern sank es bis 30°,5; wieder in die Höhe gehoben stieg es bis 33°,5 und sank unten bis 30°; abermals in die Höhe gehoben stieg es bis 32° und sank unten bis 28°,8; bei der nächsten Erhebung stieg es bis 31° und ging unten bis 28°,5 herab. Nach 18,5 Minuten seit dem Auffangen des Blutes zeigte es oben 25°,5, unten 24°, ging dann in 2 Minuten auch oben bis 24° herab, und im durchaus coagulirten Blute war die Temperatur überall gleich. Bei

1 Annales de Chimie. T. VII. p. 147.
2 Treatise on blood cet. 4. p. 47.
3 Annals of Philos. T. IV. p. 139.

einem spätern Versuche, als GORDON Venenblut eines an Pneumonie leidenden Mannes in einem länglichen Glase aufgefangen hatte, zeigte nach mehrern Minuten, als oben ein Coagulum gebildet war, das mit seiner Kugel den Boden des Glases berührende Thermometer 22°,8 C., stieg aber sofort auf 29°,5, als die Kugel in das Coagulum gehoben wurde, und ging an die erste Stelle zurückgebracht wieder bis 22°,8 zurück [1].

111) Dafs die *Compression der Gase* nicht blofs Wärme, sondern sogar Hitze bis zum Erglühen erzeuge, ist gegenwärtig eine ganz bekannte Sache, indefs scheint DALTON [2] der Erste gewesen zu seyn, welcher diese Erscheinung einer nähern Untersuchung unterwarf; wenigstens finde ich diese Wärmequelle von dem fleifsigen Sammler GEHLER nicht angegeben [3]; DALTON dagegen bewies nicht blofs die Erhöhung der Temperatur durch Compression der Luft, sondern auch ihre Verminderung durch Verdünnung derselben, welches beides man zwar früher wohl wahrgenommen, aber für eine Folge des veränderlichen Luftdruckes auf das Thermometer gehalten hatte. Die ersten entscheidenden Versuche des englischen Gelehrten, welche ausführlicher mitzutheilen jetzt überflüssig seyn würde, führten sehr bald andere bestätigende herbei. Dahin gehören die interessanten von DE LA RIVE und MARCET [4]. Läfst man hiernach gegen ein empfindliches Thermometer in einem grofsen luftleeren Recipienten durch ein feines Rohr Luft strömen, so sinkt dasselbe, bis die Elasticität der Luft 4 Zoll Barometerhöhe erreicht, bleibt dann stationär, bis zu 6 Z. Barometerhöhe, und steigt demnächst bedeutend. Die Wirkung ist der Wärmecapacität und dem Grade der Compression der hineingelassenen Luft proportional, auch kann man leicht eine gröfsere Kälte hierdurch hervorbringen, wenn man die hineingelassene Luft allezeit wieder wegschafft. Die Ursache liegt of-

1 Von sonstigen Wärmeentbindungen dieser Art wird im Abschnitt *latente Wärme* weiter die Rede seyn.

2 Mem. of the Soc. of Manchester. T. V. p. 515. G. XIV. 101.

3 Schon BOERHAVE in Elem. Chem. T. II. p. 480 sagt, die zusammengedrückte Luft gebe Wärme von sich, wie ein nasser Schwamm das Wasser. Es ist mir aber nicht bekannt, dafs man später dieses Problem weiter verfolgt habe.

4 Bibl. univ. T. XXII. p. 276.

fenbar darin, daſs die anfangs hineingelassene Luft sich ausdehnt und hierzu Wärme bedarf. Auch TILLOCH[1] nahm wahr, daſs durch beträchtliche Zusammendrückung der Luft Wärme und durch ihre Verdünnung Kälte erzeugt wurde. GAY-LUSSAC[2] benutzte nach DALTON's Aeuſserung die hierdurch erzeugte Erhöhung und Verminderung der Temperatur bei seiner classischen Untersuchung der Wärmecapacität der Luft unter verschiedenem Drucke, das Problem der Wärmeerzeugung durch Compression aber wurde bedeutend erweitert und unerwartet weit über die erforderliche Grenze hinaus bestätigt durch die Erfindung des *Tachopyrion* oder *pneumatischen Feuerzeugs*, wovon bereits oben[3] ausführlicher die Rede war. Es möge daher hier nur nachträglich bemerkt werden, daſs die sogenannten *briquets pneumatiques* zuerst durch DUMOTIEZ 6 Z. lang und von 2 Lin. innerem Durchmesser verfertigt wurden[4], LE BOUVIER-DESMORTIER aber verfertigte sie aus Glas, und entdeckte dann den Nebel, welcher in denselben beim schnellen Comprimiren der Luft entsteht und den er für freien Wärmestoff hält[5]. Als er nachher fand, daſs die Luft durch starkes Comprimiren ohne Schwamm und unter Wasser, um gegen das Entweichen eines Theiles derselben gesichert zu seyn, an Volumen verringert werde, glaubte er hierin eine Bestätigung seiner Hypothese vom Entweichen der Wärme zu finden[6]. Nach THÉNARD's[7] Versuchen wird jede Gasart im Tachopyrion durch Comprimiren erhitzt, und die erzeugte Wärme übersteigt 205° C., das Leuchten aber, welches bloſs bei Anwesenheit von Sauerstoffgas oder Chlor statt findet, hält er für eine Folge davon, daſs sich etwas Wasser und Salzsäure bil-

---

1 Philos. Magaz. T. VIII. p. 216.

2 Mém. de Phys. et Chim. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 180. Gehlen N. Journ. Th. VI. S. 392.

3 S. Art. *Feuerzeug*. Bd. IV. S. 232. MOLLET machte dasselbe im J. 1803 zu Paris bekannt, s. Journ. de Phys. T. LVIII. p. 457, doch behauptet PICTET in Bibl. brit. 1803. Juli p. 331, daſs ein gewisser FLETCHER in England schon anderthalb Jahre früher durch Compression der Luft Entzündung hervorgebracht habe.

4 Journ. de Phys. T. LXII. p. 189.

5 Ebendaselbst T. LXVII. p. 130.

6 Ebend. T. LXVIII.

7 Ann. de Chim. et Phys. T. XLIV. p. 181.

det, und es soll daher selbst bei Anwesenheit von Sauerstoffgas ausbleiben, wenn der Embolus sehr nafs ist. Holz und Papier entzünden sich über 252° C., wenn die Compression so stark ist, dafs die Luft 260 Centimeter Quecksilberhöhe zu tragen vermag, und diefs ist nach ihm eine Folge davon, dafs sich das Sauerstoffgas oder Chlor (letzteres nur mit Papier, welches etwas weniges Oel enthält) mit der verbrennlichen Substanz verbinden kann.

112) Die starke Erwärmung durch Luftcompression hat man verschiedentlich zur Erklärung der Hitze benutzt, welche die Meteorsteine bei ihrem Eintritt in die Atmosphäre aus der comprimirten Luft annehmen sollen, inzwischen ist die Unhaltbarkeit dieser Hypothese bereits nachgewiesen worden[1]. Auch die Stellen der Alten[2], worin vom Erhitzen des geschleuderten Bleies die Rede ist, die durch Biot und Prevost aufgesucht worden sind[3], dürfen als Erzeugnisse der dichterischen Phantasie wohl nicht zu Beweisen physikalischer Thatsachen dienen. Auffallen mufs dabei, dafs allezeit nur von Blei, nie aber von andern geworfenen Körpern die Rede ist. Uebrigens wollen Augenzeugen beim Aufschlagen der Kanonenkugeln, namentlich auf dürren Boden, aufsteigenden Rauch und eine Verkohlung des getroffenen Grases wahrgenommen haben, was man allerdings von der Compression der Luft, wo nicht der vegetabilischen Substanzen selbst, ableiten könnte, allein zuvor müfste erst die Thatsache genau constatirt seyn, da der vermeintliche Rauch wohl Staub und die Verkohlung blofs eine Schwärzung durch die Kugel gewesen seyn könnten. Die Angaben des Capitain Legentil[4] endlich, welcher in Aegypten abgeschossene Kugeln gesehn zu haben behauptet, die durch den Luftdruck nicht blofs erhitzt, sondern sogar dem Schmelzen nahe gebracht waren, müssen bis zu anderweitiger Bestätigung auf sich beruhn.

Leslie's Versuche, diejenige Wärme zu finden, welche durch Compression der Gasarten entbunden wird, geben zwar

---

1 S. Art. *Meteorstein*. Bd. VI. S. 2148.

2 Lucretius de rer. nat. L. VI. v. 177 u. 305. Ovidius Metam. L. II. v. 11. L. XIV. v. 7. Virgilius Aen. L. IX. v. 586.

3 G. XVIII. 249.

4 Bibliothèque britannique T. XXXIII. p. 336.

keine absolute Entscheidung dieser schwierigen Frage, verdienen aber dennoch nicht unbeachtet zu bleiben. Er hing nämlich in einem Ballon ein empfindliches Thermometer auf, exantlirte, bis die Dichtigkeit der Luft noch 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 der äufsern betrug, liefs die Luft dann einströmen, beobachtete die Grade, um welche das Thermometer stieg, und fand hieraus, dafs die Zunahme der Temperatur = y allgemein durch die Formel $y = 45^\circ \left(\frac{1}{d} - d\right)$ in Graden der Fahrenheit'schen Scale ausgedrückt werden kann, wenn d den Grad der Dichtigkeit der Luft, die der äufsern = 1 gesetzt, bezeichnet, oder noch besser $y = 45^\circ x \left(\frac{2-x}{1-x}\right)$, wenn $1 - d = x$ ist[1].

113) Wenn durch Verdichtung der Luft Wärme erzeugt wird, so veranlafst dieses zu dem Schlusse, dafs die Verdünnung derselben Kälte zur Folge haben müsse. Die Erfahrung bestätigt dieses vollkommen, obgleich ich die Aeufserung von Gay-Lussac[2], dafs eine fünffache Verdichtung der Luft 250° C. Wärme erzeuge, eine gleich starke Verdünnung daher ebenso viele Kältegrade hervorrufen müsse, weder durch Theorie noch durch Erfahrung begründet finden kann. Schon Dalton nahm bei seinen erwähnten Versuchen beide einander entgegengesetzte Erscheinungen wahr, und auf gleiche Weise erhielten spätere Experimentatoren mit feinen Quecksilberthermometern ähnliche Resultate; am auffallendsten aber zeigt sich die Erscheinung bei der Anwendung eines Breguet'schen Metallthermometers, weil die Menge der in der dünnen schraubenförmig gewundenen Lamelle der drei Metalle enthaltenen Wärme so ausnehmend gering ist und daher von der sich ausdehnenden Luft schnell absorbirt wird. Stellt man ein solches Thermometer unter die Campane einer schnell exantlirenden Luftpumpe, und sorgt man dafür, dafs die Verdünnung ungefähr in gleicher Zeit erfolgt, als die Luft nachher wieder einströmt, so geht das Thermometer vorzüglich gleich anfangs, wenn die Verdünnung am schnellsten bewerkstelligt wird, auf einen bedeutenden Grad der Kälte, und kehrt, wenn die Verdünnung langsamer erfolgt oder man mit dem Exantliren aufhört, wie-

1 Ann. of Phil. XIV. 17.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. IX. p. 305.

der zum ursprünglichen Stande zurück; läfst man hierauf Luft einströmen, so giebt der Zeiger auf der andern Seite wieder ungefähr ebenso viel oder zuweilen noch mehr Wärme an. Wollte man aus diesem Versuche und aus theoretischen Gründen folgern, dafs gleich starke Verdichtungen und Verdünnungen der Luft gleich grofse Wärmemengen zu erzeugen und zu binden vermöchten, so dürfte dieses durch die Erfahrung nicht bestätigt werden. Man darf wohl mit Sicherheit annehmen, dafs eine gehörig schnelle 18fache oder auch nur 12fache Verdichtung der Luft hinreiche, um Schwamm zu entzünden[1], und da hierzu im genäherten Werthe gegen 300° C. Wärme erforderlich sind, so müfste eine gleich starke Verdünnung eine bis unter den gewöhnlich angenommenen absoluten Nullpunct herabgehende Kälte erzeugen[2], allein es ist mir nie gelungen, Wasser im Tachopyrion durch schnelles Aufziehn des Embolus gefrieren zu machen. Dieses erklärt sich leicht daraus, dafs auch eine noch so kleine Quantität Wasser beim Gefrieren eine gröfsere Menge Wärme hergeben würde, als erforderlich wäre, die geringe Menge der ausgedehnten Luft auf eine Temperatur über dem Gefrierpuncte zu bringen.

114) Ein anderer interessanter Apparat zeigt aber sehr auffallend, was für eine unerwartet grofse Menge Wärme durch die Ausdehnung der Luft absorbirt werde[3]. Nimmt man ein

---

1 S. Art. *Feuerzeug*. Bd. IV. S. 238. Vergl. Nicholson's Journ. T. IV. p. 280. T. IX. p. 302.

2 Vergl. Navier in Ann. de Chim. et Phys. T. XVIII. p. 372.

3 Vergl. Hachette in Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 34. Poggendorff's Ann. X. 265. Pictet will auch bemerkt haben, dafs ein Wassertropfen an einem Rohre, aus welchem die vermittelst einer gewöhnlichen Luftpumpe comprimirte Luft entweicht, zu Eis gefriert. S. Journ. de Phys. T. XLVII. p. 186. Scherer's Journ. Ht. XVI. S. 481. Doch dürfte das Gelingen dieses Versuches sehr unsicher seyn. Darwin schlofs aus der beträchtlichen, durch Verdunstung erzeugten Kälte, dafs blofse Luftverdünnung ein Thermometer zum Sinken bringen müsse. Durch Versuche fand er, dafs Luft aus einer Windbüchse anhaltend gegen eine Thermometerkugel strömend das Thermometer um einige Grade sinken mache, auch gewahrte er einen gleichen Erfolg, wenn Luft in einen exantlirten Recipienten einströmte, und er folgerte hieraus, dafs die aufsteigende und dadurch verdünnte Luft die Kälte auf hohen Bergen erzeuge. S. Phil. Trans. T. LXXVIII. p. 43. Gren Journ. Th. I. S. 73. Gren dagegen war der Ansicht, die

cylindrisches Gefäfs aus fast 1 Lin. dickem Eisenblech hart gelöthet und mit zwei nahe halbkugelförmigen Enden, versieht es mit einem Hahn und prefst mittelst einer Compressionspumpe Luft bis zur dreifachen atmosphärischen Dichtigkeit oder darüber hinein, so erzeugt die Ausströmung derselben nach dem Oeffnen des Hahns nicht blofs merkliche Kälte, sondern vermag auch, wenn der Behälter hinlänglich grofs ist, also etwa 6 Zoll Durchmesser bei 18 Zoll Höhe hat, Wasser zum Gefrieren zu bringen. Für diesen Zweck darf nach meinen Erfahrungen die Oeffnung im Hahn nicht zu klein, nicht unter 0,5 Lin. im Durchmesser seyn, dann aber tritt die Eisbildung unfehlbar ein, wenn man einen Spahn, an dessen Ende sich ein in Wasser getränkter Wulst Baumwolle befindet, vor die Oeffnung hält; auch bemerkt man, wenn sich in der Röhre des Hahns etwas Wasser befindet oder die Luft im Innern sehr feucht ist, dafs kleine Eisstückchen aus der Oeffnung fliegen. Dasselbe Phänomen zeigt sich in sehr vergröfsertem Mafsstabe bei der bekannten Wasserhebungsmaschine zu Schemnitz in Ungarn[1], wenn nach der Ausleerung des Wassers die zum Emporpressen desselben dienende sehr comprimirte Luft entweicht. Hält man in den Strom dieser sich stark ausdehnenden Luft ein nasses Stück Zeug, so gefriert es sogleich, auch fliegen Eisstückchen, die aus der Feuchtigkeit im Rohre erzeugt sind, mit grofser Gewalt heraus[2].

115) Da durch Compression der Luft Wärme erzeugt wird, so fragt sich, ob diese nämliche Wirkung auch dann erfolgt, wenn die aus einem Blasebalge strömende Luft gegen ein Thermometer stöfst. Pictet[3] behauptet dieses, und er will sogar durch einen solchen Strom verdichteter Luft ein Steigen des Thermometers von 18° bis 33° wahrgenommen haben; inzwischen haben andere Versuche dieses nicht bestätigt, und es geht vielmehr aus den zahlreichen, durch Gay-Lussac und Welter angestellten hervor[4], dafs gar keine oder nur eine un-

---

Bindung und Entbindung der Wärme durch Verdünnung und Verdichtung der Luft sey blofs Folge der expandirten und präcipitirten Wasserdämpfe. S. dessen Journal Th. III. S. 197.

1 S. Art. *Pumpe.* Bd. VII. S. 976.

2 S. Journ. de Phys. T. XLVIII. p. 166.

3 Bibliothèque britannique T. XXXIII. p. 331.

4 Annales de Chim. et Phys. T. XIX. p. 436.

merkliche Temperaturveränderung durch dieses Mittel hervorgebracht wird, weil die Zusammendrückung der Luft Wärme erzeugt, ihre Ausdehnung aber Kälte, und beide hierbei vereinte entgegengesetzte Wirkungen einander aufheben. Daher ist die Bindung der Wärme bei der Schemnitzer Maschine so stark, weil die langsam comprimirte, dann nach einem Zeitintervall ausströmende Luft im Ganzen sich so bedeutend ausdehnt; das Blasen aus dem Windkessel der Dampfmaschine zu Chaillot, in welchem die Luft stets durch den Druck von 2,6 Atmosphären comprimirt wird und sich sofort wieder ausdehnt, bringt dagegen keine Temperaturveränderung hervor[1].

116) Die Erklärung aller dieser Phänomene ist nicht schwierig, auch sind im Ganzen alle Physiker hierüber einverstanden[2]. Wird die Kraft des repulsiv in den Gasarten wirkenden Wärmestoffes durch mechanische Gewalt überwunden, die Attraction der Molecüle dagegen durch ihre gröſsere Annäherung verstärkt, so muſs Wärme ausgeschieden werden; durch Verminderung des äuſsern Druckes dagegen entfernen sich die Molecüle weiter von einander, die Attractionskraft wirkt schwächer und die Wärmeatome haben leichtern Zutritt, ihre Menge muſs zur Herstellung des stabilen Gleichgewichts vermehrt werden, weswegen die so verdünnten Gasarten den Umgebungen Wärme entziehn. Daſs aber durch Verdünnung der Luft nicht gleiche Mengen Wärme absorbirt, als durch Compression frei gemacht werden, scheint nicht bloſs nicht schwer zu erklären, sondern liegt sogar in der Natur der Sache. Die aus den comprimirten Körpern ausgeschiedene Wärme ist in ihnen einmal vorhanden und wirft sich auf die ihr zunächst dargebotenen Substanzen, die von den expandirten aufzunehmende dagegen muſs den umgebenden Körpern, durch die sie festgehalten wird, entzogen werden, wozu einige Zeit erforderlich ist, während welcher sie von allen Seiten herzuströmt. Auſserdem aber ist Grund vorhanden zu vermuthen, daſs die durch Compression frei gewordene Wärme in Undulationen geräth und demnach stärkere Wirkungen äuſsert, als ihrer Quantität angemessen ist; wenigstens führen zu diesem

---

1 Hachette in Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 34. G. LXXI. 200.

2 Vergl. Thomson's System of Chimistry. T. I. p. 150.

Schlusse die Versuche von Le Bouvier Desmortiers[1], welcher einen Lichtschein im gläsernen Tachopyrion wahrnahm, einen Funken aber nur dann, wenn sich ein entzündlicher Körper darin befand. Weil man nun diese Undulationen nicht mit in Rechnung nehmen kann, die den theoretischen Bestimmungen der Wärmemengen, die durch Compression frei, durch Expansion aber gebunden werden, zum Grunde liegenden Versuche aber nur mit geringen und langsam bewerkstelligten Verdichtungen und Verdünnungen angestellt wurden, bei denen diese vibratorische Bewegung nicht eintritt oder zu bald aufhört, als daſs sie einen meſsbaren Effect hervorbringen könnte, so dürfte hierin der Grund liegen, warum die Resultate der theoretischen Untersuchungen über die Menge der durch Compression frei gemachten, durch Expansion dagegen gebundenen Wärme mit der Erfahrung nicht übereinstimmen und deren Prüfung daher hier besser übergangen wird[2].

### 3) Wärmeerzeugung durch Verdichtung, durch Vereinigung und chemische Verbindung heterogener Körper.

117) Daſs durch die Verbindung verschiedener Körper Wärme entbunden wird, die nicht selten sehr bedeutend ist und oft sogar bis zum Erglühen steigt, wuſste man seit den ältesten Zeiten; auch kommen diese Erscheinungen in so zahlloser Menge vor, daſs man sie als allgemein bekannt betrachten darf. Fassen wir aber das Gemeinsame aller dieser Erscheinungen zusammen, so kommen sie alle darauf zurück, daſs heterogene Substanzen sich mit einander verbinden, ihre Molecüle dadurch eine andere Lage annehmen, mithin in ein anderes Verhältniſs zu den Atomen des Wärmestoffes kommen und diese daher aus ihrem bestehenden stabilen Gleichgewichte mit der Attractivkraft gesetzt werden. Im Ganzen darf man nach theoretischen Gründen annehmen, daſs die Molecüle eines gegebenen Körpers sich nicht trennen und mit denen eines andern Körpers sich nicht verbinden würden, wenn letztere sie

1 Journ. de Phys. 1809. Mai. G. XXXIII. 228.

2 Vergl. Ivory in Phil. Mag. and Ann. T. I. p. 89 u. 165. Meikle in Edinb. New Phil. Journ. N. V. p. 149 u. a. a. O.

nicht durch eine überwiegende Kraft anzögen, wovon dann eine Verdichtung und Ausscheidung des repulsiven Wärmestoffes nothwendige Folge seyn muſs. Eben dieser Erfolg muſs auch statt finden, wenn verbundene Körper sich trennen, selbst ohne neue Verbindungen einzugehn; allein eine Trennung in einfache Bestandtheile kann der Natur der Sache nach nicht wohl statt finden ohne die Mitwirkung anderweitiger besonderer Ursachen, deren modificirender Einfluſs daher besondere Berücksichtigung verdient. Endlich darf man theoretisch annehmen, daſs die Wärmeentbindung um so viel stärker seyn wird, je energischer sich die Körper mit einander verbinden, und je gröſser ihre Verdichtung ist. Alle diese aus der aufgestellten und allen Erscheinungen anzupassenden Theorie folgenden Sätze finden sich in der Erfahrung bestätigt, es ist aber sehr natürlich, daſs die zahllosen Phänomene, welche zu dieser Classe gehören, mannigfaltige Verschiedenheiten zeigen müssen, die noch besondere Modificationen des allgemeinen Erklärungsprincipes erfordern, ohne jedoch mit demselben im Widerspruch zu stehn. Ob wirklich ein solcher Widerspruch nirgend vorhanden sey, verdient vorzügliche Beachtung, sobald es sich um eine ernstliche Prüfung der Theorie handelt; inzwischen wird der Verfolg der Untersuchung zeigen, daſs dieses keineswegs der schwierigste Theil der Aufgabe sey, da es vielmehr weit schwerer ist, die zahllosen Phänomene nach ihren Eigenthümlichkeiten in einzelne Classen zu ordnen und die zusammengehörigen richtig zu vereinigen. Man könnte auch das Verhalten der Wärme beim Gestehn, Gefrieren und Krystallisiren der Körper mit zu dieser Classe rechnen, da aber hiervon in einem besondern Abschnitte die Rede seyn wird, so können sie hier füglich übergangen werden.

Wenn die Molecüle der Körper oder ihre Partikeln eine neue Verbindung mit oder ohne gleichzeitige Trennung eingehn, so geschieht dieses allezeit durch die Wirkung der Attractionskraft, man nennt diese aber in denjenigen Fällen *chemische Kraft*, wenn die entstandene Verbindung so genau ist, daſs sie nur durch eine ähnliche und gleichartig wirkende Kraft wieder getrennt werden kann. Da aber der Scharfsinn der geübtesten Chemiker die Grenze zwischen sogenannten Mengungen und chemischen Verbindungen bis jetzt kaum oder doch nicht scharf zu bestimmen vermochte, so wird dieser

Unterschied hier billig vernachlässigt und allgemein von den Wärmephänomenen bei Verbindungen gehandelt, ja man darf wohl unbedenklich, eine scharfe Grenze als nicht existirend vorausgesetzt, sobald nur die Molecüle oder die kleinsten Partikeln der Körper, nicht aber gröfsere Theile oder Massen derselben sich verbinden, alle diese Erscheinungen der Kürze halber unter den gemeinsamen Ausdruck der *Wärmeerzeugung durch Chemismus* zusammenfassen.

118) Eine Reihe höchst merkwürdiger Versuche über die Erzeugung der Wärme durch das Eindringen von Flüssigkeiten in lockere Körper der verschiedensten Art hat Pouillet[1] bekannt gemacht. Er bediente sich hierzu sehr feiner Thermometer, welche die geringsten Wärmeveränderungen angaben, doch erhielt er zuweilen Temperaturerhöhungen von 6° bis 7°, ja sogar bis 10° C. Der Erfolg findet statt bei der Aufnahme von Wasser, Alkohol, den verschiedenen Oelen, Essigäther u. s. w., doch geben nicht alle lockere Körper mit allen Flüssigkeiten gleich grofse Wärmemengen, dagegen aber läfst sich behaupten, dafs alle Körper durch Flüssigkeiten, die leicht in sie eindringen, eine Erhöhung der Temperatur erfahren. Mit gepulverten Metallen, Metalloxyden und Mineralien der verschiedensten Art, ebenso mit organischen Körpern, als Holz, Rinden, Wurzeln, Früchten, verschiedenartigen Körnern, Schwamm, Seide, Haaren, Wolle, Elfenbein, Sehnen, Membranen u. s. w., welche alle Wasser in sich aufnehmen, hat er die Versuche angestellt, und dabei zugleich noch die Erfahrung gemacht, dafs die organischen Körper mehr erwärmt werden, als die unorganischen, was er sehr richtig als eine Folge gröfserer Feinheit ihrer Theilchen betrachtet. Auffallender ist dagegen, dafs die nämlichen Körper, z. B. Sehnen, ungefähr ebenso viel Wärme entwickeln, sie mögen Wasser, Oel, Alkohol oder Essigäther verschlucken. Nach diesen Resultaten ist wohl nicht zu bezweifeln, dafs die schon früher durch Faraday[2] wahrgenommenen Erscheinungen gleichfalls unter diese Classe gehören. Er hielt eine Thermometerkugel in Wasserdämpfe, worin sie bleibend 100° C. zeigte; streuete

---

1 Annales de Chim. et Phys. T. XX. p. 141. Bulletin des Sciences 1822. G. LXXIII. 336.

2 Annales de Chimie. T. XX. p. 329.

er aber etwas pulverisirten Salmiak auf die Kugel, so stieg die Wärme sofort auf 110° C., und eine gleiche Vermehrung fand statt, wenn die Kugel in Leinen oder Flanell gehüllt war, worauf man vorher verschiedene Salze, Alkalien, Zucker u. s. w. in Pulverform gestreuet hatte.

119) Viele Erscheinungen einer bedeutenden Wärmeerzeugung durch feste Körper in Folge der Aufnahme von Wasser und sonstigen Flüssigkeiten, insbesondere von Säuren, kennt man seit den ältesten Zeiten, ohne sie jedoch aus der hier aufgestellten allgemeinen Ursache abzuleiten. Vor allen Dingen gehört hierher die Erhitzung des gebrannten Kalkes beim Löschen, welche bis zum Glühen steigt, so daſs sie Entzündung des Schieſspulvers bewirkt[1]. Wenn man nach einer Angabe von Göbel[2] etwa 0,5 Unze gebrannten salinischen Marmor in einer Schale mit einem feinen Wasserstrahle bespritzt, so erfolgt hellrothes Erglühn der Masse. Ehemals leitete man dieses auf eine seltsame Weise davon ab, daſs der Kalk beim Brennen Feuer in sich aufnehme und dieses durch Wasser ausgeschieden werde, und brachte überhaupt dieses Phänomen mit dem Verhalten des Phlogistons in Verbindung, allein die Ursache liegt einfach in der begierigen Verschluckung des Wassers, da der Kalk beim Brennen sein Krystallwasser verliert, welches in solcher Menge in ihm vorhanden ist, daſs es mit Einschluſs der gleichfalls entweichenden Kohlensäure nahe 0,25 seines Gewichtes beträgt. Benetzt man den gebrannten Kalk mit Salpetersäure oder noch besser mit Schwefelsäure, so ist die Erhitzung ungleich stärker, weil die Anziehung zu diesen Flüssigkeiten gröſser ist. Frisch geglühte Magnesia mit etwas Schwefelsäure benetzt zeigt sogleich glühende Stellen; hat die Magnesia Kohlensäure aufgenommen, so wird diese ausgeschieden und der Versuch geräth weniger gut oder gar nicht. Hierzu dürfte auch eine merkwürdige Erscheinung zu zählen seyn, welche Berzelius[3] wahrgenommen hat. Wenn man einige von den spieſsglanzsauren Metallen, z. B. die von Zink-, Kobalt-, Kupfer- und Manganoxyd, erhitzt, so geben sie anfangs ihr Krystallwasser her, dann aber, wenn sie zum

1 Vergl. Berzelius Jahresbericht. Th. XI. S. 122.
2 Schweigger's Journal Th. LVIII. S. 288.
3 G. XLII. 295.

vollen Rothglühn oder anfangenden Weifsglühn gekommen sind, entzünden sie sich, und verglimmen mit grofser Lebhaftigkeit während einer oder einiger weniger Secunden. Da die Metalle dann schon auf der höchsten Stufe der Oxydation waren und die Erscheinung auch ohne Zutritt der Luft sich zeigt, so kann sie nicht als ein Verbrennen betrachtet werden, und kann also nicht wohl für etwas anderes, als eine Folge der Wärmeentwickelung durch Verdichtung gelten, was dadurch wahrscheinlich wird, dafs die Metallsalze an Gewicht weder zunehmen noch abnehmen, wohl aber ihre Farbe fast gänzlich verlieren und in Säuren so gut wie unlöslich sind, statt dafs sie vorher mit Hinterlassung von Spiefsglanzsäure leicht zerlegt werden.

120) Werden Flüssigkeiten, die sich leicht und innig verbinden, mit einander gemischt, so erleiden sie im Ganzen eine Verminderung ihres Volumens und entbinden Wärme, wie bei Weingeist und Wasser, Säuren und Wasser, Oelen und Säuren u. s. w. der Fall ist, wobei um so gröfsere Wärme frei wird, je energischer, bis zur eigentlichen chemischen Umwandlung, sie sich verbinden. Eigentliche Versuche hierüber sind vorzüglich mit Weingeist und Wasser angestellt worden, zuerst wohl durch G. G. Schmidt[1] in der Absicht, um das Verhältnifs der Verdichtung zur Menge der frei werdenden Wärme auszumitteln. Die Resultate seiner Versuche sind in folgender Tabelle enthalten, worin D und d die beobachteten und die berechneten Dichtigkeiten $\Delta d$ die in Tausendsteln ausgedrückten Aenderungen der Dichtigkeiten, und $\Delta t$ die Erhöhungen der Temperatur in Centesimalgraden bezeichnen; das spec. Gewicht des Weingeistes war 0,8894.

| Weingeist | Wasser | D | d | $\Delta d$ | $\Delta t$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 Theile | 1 Theil | 0,9195 | 0,9095 | 10,9 | 3°,62 |
| 3 — | 1 — | 0,9280 | 0,9147 | 14,3 | 3,75 |
| 2 — | 1 — | 0,9380 | 0,9234 | 15,6 | 5,00 |
| 1 — | 1 — | 0,9570 | 0,9414 | 16,3 | 6,25 |
| 1 — | 2 — | 0,9720 | 0,9602 | 12,1 | 6,00 |
| 1 — | 3 — | 0,9785 | 0,9698 | 8,4 | 5,31 |
| 1 — | 4 — | 0,9820 | 0,9757 | 6,4 | 4,70 |
| 1 — | 5 — | 0,9860 | 0,9797 | 6,4 | 4,00 |

1 Gren N. Journ. Th. I. S. 192.

Die Bestimmung der Dichtigkeiten geschah vor und nach der Mischung bei der nämlichen Temperatur von 15° R. und die Dichtigkeit = $\delta$, welche die Mischung ohne Aenderung des Volumens hätte haben müssen, wurde nach der Formel

$$\delta = \frac{M + m}{\frac{M}{D} + \frac{m}{d}} = \frac{(M + m) D d}{d M + D m}$$

berechnet, worin M und m die Massen, D und d die Dichtigkeiten bezeichnen. Man sieht hieraus, dafs die Zunahme der Temperatur am gröfsten bei gleichen Mengen ist und dann nach beiden Seiten hin abnimmt, allein hierauf ist keine allgemeine Folgerung zu gründen, weil der gebrauchte Alkohol kein absoluter war. Bei allen diesen Mischungen fand aber eine Vermehrung der Dichtigkeit statt, und hierin könnte also die Ursache der Wärmeentbindung gesucht werden.

121) Aehnliche Versuche von Thillaye[1] führten zu Resultaten, welche etwas Auffallendes zu haben scheinen, doch ist nicht zu übersehn, dafs sie mit viel weniger absolutem Alkohol angestellt wurden, als die oben erwähnten. Bei der ersten Versuchsreihe war das spec. Gewicht des Alkohol 0,9544 bei 12° R. und mit Beibehaltung der eben gebrauchten Bezeichnungen mit dem Unterschiede, dafs $\Delta d$ nicht in Tausendsteln gegeben ist, wurden folgende Gröfsen gefunden.

| Weingeist | Wasser | D | d | $\Delta d$ |
|---|---|---|---|---|
| 9 Theile | 1 Theile | 0,9598 | 0,9590 | + 8 |
| 8 — | 2 — | 0,9646 | 0,9635 | 11 |
| 7 — | 3 — | 0,9690 | 0,9681 | 9 |
| 6 — | 4 — | 0,9731 | 0,9725 | 6 |
| 5 — | 5 — | 0,9768 | 0,9772 | — 4 |
| 4 — | 6 — | 0,9807 | 0,9818 | 11 |
| 3 — | 7 — | 0,9850 | 0,9863 | 13 |
| 2 — | 8 — | 0,9890 | 0,9904 | 14 |
| 1 — | 9 — | 0,9943 | 0,9954 | 11 |

Bei einer zweiten Versuchsreihe war das spec. Gewicht des Weingeistes 0,9600 und die Resultate folgende:

1 Journal des Mines 1811. T. XXIX. G. XLVI. 194.

| Weingeist | Wasser | D | d | Δd |
|---|---|---|---|---|
| 9 Theile | 1 Theile | 0,9648 | 0,9640 | + 8 |
| 8 — | 2 — | 0,9689 | 0,9680 | 9 |
| 7 — | 3 — | 0,9724 | 0,9720 | 4 |
| 6 — | 4 — | 0,9760 | 0,9760 | 0 |
| 5 — | 5 — | 0,9792 | 0,9800 | — 8 |
| 4 — | 6 — | 0,9828 | 0,9840 | 12 |
| 3 — | 7 — | 0,9867 | 0,9880 | 13 |
| 2 — | 8 — | 0,9907 | 0,9920 | 13 |
| 1 — | 9 — | 0,9950 | 0,9960 | 10 |

Das Auffallende hierbei ist, dafs mit der Zunahme der Mengen des Wassers Raumvermehrung statt Verminderung eintrat, und zwar früher, wenn der Weingeist minder rein war, ja in andern Versuchen mit Alkohol von 0,9688 und 0,9750 spec. Gewichte fand gar keine Verdichtung, sondern blofs Raumvermehrung statt. Genau genommen steht dieses mit den durch G. G. Schmidt erhaltenen Resultaten nicht im absoluten Widerstreite, denn auch in dessen Versuchen nahm die Vermehrung der Dichtigkeit ab, wenn mehr Wasser und weniger Alkohol vereinigt wurden, und zwar in einer starken Progression, so dafs sich ein Uebergang zum Negativen denken läfst. Auffallender dagegen ist, dafs selbst bei Vergröfserung des Volumens dennoch Wärme entbunden worden seyn soll, weswegen auch die Richtigkeit dieses Resultates mehrseitig in Zweifel gezogen wurde.

122) Neuerdings ist aber dieser Zweifel durch Rudberg[1] beseitigt worden, welcher diesen Gegenstand mit der ihm eigenthümlichen Schärfe und Genauigkeit behandelt hat. Seine eigenen Versuche wurden mit Alkohol von 0,83991 spec. Gewicht bei 15° C. angestellt und gaben folgende Resultate.

| Versuche | Wasser | Alkohol | spec. Gew. d. Mischung | Contraction |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 36,253 | 136,860 | 0,88783 | 1,648 |
| 2 | 41,907 | 133,674 | 0,89413 | 1,823 |
| 3 | 45,070 | 130,205 | 0,89795 | 1,916 |
| 4 | 49,525 | 126,573 | 0,90314 | 2,056 |
| 5 | 55,271 | 124,267 | 0,90845 | 2,166 |
| 6 | 59,574 | 114,761 | 0,91511 | 2,291 |
| 7 | 62,137 | 110,138 | 0,91907 | 2,387 |
| 8 | 66,832 | 105,923 | 0,92375 | 2,430 |
| 9 | 72,812 | 102,821 | 0,92895 | 2,501 |
| 10 | 76,336 | 97,970 | 0,93309 | 2,536 |
| 11 | 80,217 | 93,832 | 0,93713 | 2,566 |
| 12 | 82,358 | 85,877 | 0,94187 | 2,569 |
| 13 | 91,697 | 80,531 | 0,94882 | 2,560 |
| 14 | 99,111 | 76,693 | 0,95319 | 2,477 |

1 Poggendorff's Ann. XIII. 496.

Aus diesen mit verdünntem Alkohol erhaltenen Contractionen lassen sich diejenigen berechnen, welche absoluter geben würde. Besteht nämlich ein Volumen gemischten Alkohols aus einem Volumen reinen Alkohols = v und einem Volumen Wasser = w, wird zu diesem ein Volumen Wasser = V gesetzt und heiſst das Volumen dieser Mischung U, so findet man die beobachtete Zusammenziehung

$$e = 100\left(\frac{u + V}{U} - 1\right).$$

Die totale Zusammenziehung C der Mischung ist aber

$$C = 100\left(\frac{v + w + V}{U} - 1\right),$$

und die bei dem verdünnten Alkohol schon statt gefundene Contraction c ist

$$c = 100\left(\frac{v + w}{u} - 1\right),$$

wonach also

$$C = e + c\,\frac{u}{U}.$$

Um den Procentgehalt der Mischung zu finden, mögen p und P die Procentgehalte an absolutem Alkohol in der Mischung und im angewandten verdünnten Weingeist bezeichnen[1], und man erhält dann

$$p = P\,\frac{u}{U}.$$

Für Alkohol von 0,83991 ist die Contraction c = 2,120 und der Procentgehalt P = 88,30 und hiermit erhält man in der obigen Formel

$$C = e + 2{,}120\,\frac{u}{U} \text{ und } p = 88{,}30\,\frac{u}{U}.$$

Hiernach berechnet erhält man aus den durch die genannten Versuche gefundenen Gröſsen folgende Procente und Contractionen der Mischungen:

---

1 Diese Gröſsen ergeben sich aus der im Art. *Gewicht* Bd. IV. S. 1567 befindlichen Tabelle.

| Versuche | Procente | Contractionen |
|---|---|---|
| 1 | 70,96 | 3,351 |
| 2 | 68,45 | 3,466 |
| 3 | 66,85 | 3,521 |
| 4 | 64,77 | 3,601 |
| 5 | 62,44 | 3,665 |
| 6 | 59,46 | 3,718 |
| 7 | 57,80 | 3,774 |
| 8 | 55,45 | 3,761 |
| 9 | 52,98 | 3,773 |
| 10 | 50,89 | 3,758 |
| 11 | 48,82 | 3,738 |
| 12 | 46,23 | 3,679 |
| 13 | 42,34 | 3,576 |
| 14 | 39,47 | 3,424 |

Man sieht hieraus, dafs die Contractionen mit den Procenten des Alkohols erst wachsen und dann wieder abnehmen. Um das hierbei zum Grunde liegende Gesetz genauer aufzufinden, wählt Rudberg die auch anderweitig angewandte Gleichung zwischen den Contractionen c und den Procenten p, wonach

$$c = A + Bp + Cp^2 + Dp^3 + \ldots.$$

gesetzt wird. Für die Coefficienten wählt er die Versuche 1, 5, 10, 14 und erhält hieraus die Gleichung

$$c = -17{,}427 + 22{,}1751\, p - 2{,}5381\, p^2 + 0{,}059865\, p^3,$$

aus welcher zur Bestimmung des Maximums

$$\partial c = 22{,}1751\, \partial p - 5{,}0762\, \partial p^2 + 0{,}17959\, \partial p^3,$$

$$\text{und für } \frac{\partial c}{\partial p} = 0$$

$$0 = 22{,}1751 - 5{,}0762\, p + 0{,}17959\, p^2$$

wird. Die eine Wurzel dieser Gleichung ist 5,40 und giebt c = 37,75. Die gröfste Zusammenziehung liegt hiernach bei 54,00 Procent und beträgt 3,775, oder 103,775 haben sich zu 100 zusammengezogen. Rudberg meint, das Maximum der Zusammenziehung finde bei einem gewissen einfachen Verhältnisse des Sauerstoffgehaltes beider Flüssigkeiten statt, indem schon Ure gezeigt habe, dafs bei den Mischungen von Schwefelsäure mit Wasser die gröfste Contraction bei der Gleichheit der Sauerstoffmengen beider Flüssigkeiten eintrete. Sollte dieses allgemein der Fall seyn, so wäre es allerdings ein beachtenswerther Umstand. Der Alkohol enthält nach dem Gewichte 34,454 Procente Sauerstoff; die 54 Volumenprocente oder 42, 913

Gewichttheile desselben enthalten also 14,785 und die 49,77 Gewichttheile Wasser 44,248 Procente Sauerstoff, welches letztere gerade das Dreifache des ersteren ist. Die gröſste Zusammenziehung fände also zwischen 3 Atomen Wasser und 1 Atom Alkohol statt, und eine solche Mischung enthält 49,836 Volumentheile Wasser und 53,939 Volumentheile absoluten Alkohol. Die angegebene Zusammenziehung gilt für 15° C. und nimmt bei zunehmender Wärme ab; denn nach Tralles ist die Contraction bei 4° = 3,97, bei 17°,5 = 3,60, bei 37°,7 = 3,31, was theoretisch damit zusammenhängt, daſs bei niedrigern Temperaturen die Theilchen einander näher liegen und daher die Anziehungen stärker sind. Die von Thillaye beobachtete Ausdehnung wird hieraus einfach erklärlich. Der von ihm gebrauchte Weingeist hatte bei 15° ein spec. Gew. = 0,9544 und bei demselben hatte daher schon eine totale Contraction von 3,35 Procenten statt gefunden. Heiſst diese C, die beobachtete e, das Volumen dieses Weingeistes u, das der Mischung U, so ist

$$e = C - 3{,}35\,\frac{u}{U}.$$

Werden die von Thillaye gemachten Mischungen nach dieser Tabelle berechnet, so erhält man

| Wasser | Alkohol | e |
|---|---|---|
| 1 Theil | 9 Theile | + 0,11 |
| 2 — | 8 — | + 0,10 |
| 3 — | 7 — | + 0,09 |
| 4 — | 6 — | + 0,02 |
| 5 — | 5 — | — 0,04 |
| 6 — | 4 — | — 0,09 |
| 7 — | 3 — | — 0,14 |
| 8 — | 2 — | — 0,19 |
| 9 — | 1 — | — 0,10 |

woraus die Richtigkeit der angegebenen Versuche erhellet. Ueber die auch bei Verminderung der Dichtigkeit freiwerdende Wärme wird später die Rede seyn.

123) Sehr bekannt ist die groſse Hitze, welche bei der Vereinigung der Säuren, namentlich der Schwefelsäure, mit Wasser erzeugt wird. G. G. Schmidt[1] hat auch hierüber Versuche angestellt, deren Resultate folgende Tabelle zeigt, worin

1 A. o. a. O.

die oberen Bezeichnungen beibehalten sind. Das spec. Gewicht des nordhäuser Vitriolöls war 1,866, der rauchenden Salpetersäure 1,428 und der concentrirten Salzsäure 1,181.

| Vitriolöl | Wasser | D | d | $\Delta$d | $\Delta$t |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 Theil | 15 Theile | 1,043 | 1,030 | 12,4 | 13°,75 |
| 1 — | 3 — | 1,183 | 1,131 | 43,9 | 68,75 |
| 1 — | 1 — | 1,412 | 1,302 | 77,9 | 93,75 |
| 3 — | 1 — | 1,622 | 1,534 | 54,3 | 100,00 |
| Salps. | | | | | |
| 3 — | 1 — | 1,336 | 1,289 | 35,2 | 23,75 |
| 1 — | 3 — | 1,084 | 1,064 | 18,7 | 11,25 |
| Salzs. | | | | | |
| 3 — | 1 — | 1,132 | 1,130 | 1,8 | 11,25 |
| 1 — | 3 — | 1,042 | 1,040 | 1,9 | 7,50 |

Man ersieht hieraus, namentlich bei der Schwefelsäure, die starke Erhitzung, welche zu den Quantitäten des Wassers im umgekehrten Verhältnisse steht, weswegen die bekannte Regel gilt, dafs man stets die Säure zum Wasser, nie aber umgekehrt schütten mufs, weil sonst ein Theil des durch mechanische Gewalt niederfallenden Wassers in Dampf verwandelt die Säure emporschleudert. Hess[1] fand durch eine Reihe von Versuchen, dafs die Wärmeentbindung hierbei nach bestimmten Verhältnissen erfolgt. Dabei bediente er sich der Schwefelsäure, die von 1 bis 6 Atome Wasser auf 1 Atom Säure enthielt, vermischte sie mit einem Ueberschufs Wasser, führte die dabei entwickelten Wärmemengen auf gleiche Mengen wasserfreier Säure zurück, und fand, dafs die dabei entwickelten Wärmemengen nahe genau Multipla in ganzen Zahlen waren.

| Auf 1 At. wasserf. S. entwickelt | gefunden | berechnet | Multipl. | Unterschiede |
|---|---|---|---|---|
| $\dot{H}^6 \dddot{S}$ | 43,8 | 43,8 | 2 | |
| $\dot{H}^4 \dddot{S}$ | 67,2 | 65,7 | 3 | 1 |
| $\dot{H}^3 \dddot{S}$ | 93,5 | 87,6 | 4 | 1 |
| $\dot{H}^2 \dddot{S}$ | 132,6 | 131,4 | 6 | 2 |
| $\dot{H}^1 \dddot{S}$ | 222,5 | 217,8 | 10 | 4 |

Es liegt in der Natur der Sache, dafs das erste Atom Wasser stärker als das zweite u. s. w. angezogen wird, und die gefundenen Gröfsen zeigen, dafs die entwickelte Wärmemenge desto gröfser ist, je innigere Verbindung statt findet.

1 Poggendorff's Ann. XLVII. 210.

124) Eine der auffallendsten Erscheinungen von Wärmeentbindung bei der Mischung verschiedenartiger Flüssigkeiten liefert die Verbindung von Schwefelsäure mit rauchender Salpetersäure, wenn man sie zu Terpentinöl schüttet. Schon die erstere Säure allein giebt mit ätherischen und fetten Oelen vereint starke Hitze mit Aufbrausen, einen interessanten und diese Art der Wärmeerzeugung auffallend zeigenden Versuch kann man aber anstellen, wenn man ungefähr gleiche Theile concentrirter Schwefelsäure und rauchender Salpetersäure zusammengiefst, die sich hierbei gleichfalls erhitzen, und dann diese Mischung in eine ungefähr gleiche Menge Terpentinöl schüttet, welches sich sogleich zu einer hellen Flamme mit dickem, schwarzem Rauche entzündet. Auch die rauchende Salpetersäure, mit den meisten ätherischen Oelen vereint, bringt für sich allein eine lebhafte Entzündung hervor, ein Phänomen, welches schon BORRICHIUS [1] beim Terpentinöle zuerst wahrnahm, viele Andere aber, z. B. SLARE [2], BEAUMÉ [3] und PROUST [4], theils mit, theils ohne Erfolg wiederholten, bis DIPPEL, HOFFMANN und GEOFFROY [5] auffanden, dafs der Versuch jederzeit gelinge, wenn man eine Mischung von Salpetersäure und Schwefelsäure anwende. Diese Erscheinung ist das, was man *Verbrennen* nennt, und es unterliegt keinem Zweifel, dafs alle hierzu gehörige Phänomene unter diese allgemeine Classe zu bringen sind. Diese wollen wir daher zuvor näher betrachten, ehe wir die wichtige Frage erörtern, ob Wärmeentbindung auch bei Raumerweiterung statt finden könne.

125) Soll zuerst festgestellt werden, was man unter *Verbrennung* verstehe, so kann man sagen: Verbrennen heifst jede chemische Verbindung oder Trennung der Körper, die mit Ausscheidung von Licht und Wärme verbunden ist. Hiernach gehören also alle Verbrennungen unter die allgemeine Classe derjenigen Phänomene, bei denen Wärme durch Chemismus erzeugt wird, nach genauerer Beschränkung mufs aber nicht blofs Wärme, sondern zugleich auch ein mehr oder minder

---

1 Acta medica et philos. Hafniensium. 1671. p. 133.
2 Phil. Trans. 1694. N. 213. T. XVIII. p. 200.
3 Manuel de Chymie. p. 340.
4 Journ. de Physique. T. XII. p. 432.
5 ROUELLE in Mém. de l'Acad. 1747. p. 34.

starkes Leuchten dabei zum Vorschein kommen. Da in der Natur überall keine scharfe Begrenzung statt findet, so gehen auch die unter diese Classe gehörigen Phänomene in diejenigen nahe liegenden verwandten über, bei denen ein hoher Grad von Wärme in Folge chemischer Verbindung frei wird, wie man denn auch nicht ganz mit Unrecht die Entwickelung der thierischen Wärme ein langsames Verbrennen genannt hat; die Uebersicht des Ganzen wird aber durch die gewählte Feststellung des Begriffes ausnehmend erleichtert. Um aber die zahllosen Phänomene des Verbrennens noch leichter zu übersehen, wollen wir auch diese unter verschiedene Abtheilungen ordnen.

### a) Selbstzündungen.

126) Werden Körper mit einander vereint, welche die Bedingungen des Verbrennens in sich enthalten, und wirken sie mit grofser Energie auf einander, so erfolgt ihre Entzündung und nachherige Verbrennung von selbst. Hierher gehört der alte Versuch von Lemery[1], welcher von Beaumé und Andern wiederholt wurde, hauptsächlich weil man die Erscheinungen der feuerspeienden Berge durchaus erklären wollte. Inzwischen zeigt sich dieses eigenthümliche, zur Classe der Verbrennungen zu rechnende, Phänomen nicht blofs bei der Vereinigung des Schwefels mit Eisen, sondern auch mit andern Metallen[2], namentlich mit Kupfer. Letzteren Versuch haben Pfaff und Lentin wiederholt[3]. Sie nahmen 15 Gran Schwefel und 40 Gran Kupferfeilicht, thaten das Gemenge in eine Glasröhre und erhitzten diese, wobei die Masse zuerst zusammensinterte, dann sich aufblähete, und zuletzt unter Entwickelung einiger Dämpfe in lebhaftes Glühen, jedoch ohne Flamme, gerieth. Mit Zink ist die Wirkung noch gröfser und bei minderer Vorsicht mit einer leicht gefährlichen Explosion verbunden[4]. Eben dieses ist leicht der Fall bei der bekannten Reduction des Quecksilbers durch Eisen, wo die Explosion leicht im Augenblicke des Ueberganges des Schwefels an das Eisen eintritt, auch

1 Mém. de l'Acad. de Par. 1700. Vergl. *Vulcan.* Bd. IX. S. 2278.

2 Van Mons in Gren's Journ. d. Phys. Th. VIII. S. 19.

3 Ebendaselbst S. 280.

4 Recherches physico-chimiques par MM. Deiman cet. Mém. III. Amst. 1794. V. Crell chem. Ann. St. XI. S. 383. St. XII. S. 532.

nahm Gehlen[1] beim Uebertritt des Arseniks an Platin plötzliche Entbindung von leuchtender Glühhitze wahr. Wenn man Arsenik im feuchten Zustande pulvert, so wird es beim Zutritt der Luft langsam heiſs und entzündet sich zuletzt[2], ein Phänomen, welches sich dem eigentlichen Verbrennen durch Sauerstoff anreihen läſst. Eine sehr alte Erfahrung ist die von Bryant Higgins[3], daſs feuchtes salpetersaures Kupfer etwas zerkleinert und in ein Stanniolblättchen gewickelt, dann etwas gepreſst eine Entzündung bewirkt, wobei Funken umhersprühen. Die Erscheinung läſst sich auffallender, aber nicht wissenschaftlich interessanter machen, wenn man kleine Bröckchen Phosphor beimengt, auch theilt sich die Entzündung leicht verbrennlichen Körpern, als Sägemehl u. s. w., mit, wenn man das Packetchen darunter legt; die Anwesenheit von Feuchtigkeit ist aber nothwendige Bedingung[4].

127) Ungleich häufiger sind die von selbst sich entzündenden Mischungen, in denen sich Bestandtheile aus dem Thier- und Pflanzenreiche befinden[5]. Schon im J. 1764 ergab sich, daſs zu Petersburg mehrmals Feuer da entstand, wo sich mit Oel begossener und dann fest gepackter Hanf befunden hatte, auch erzählt Woodman[6] ein Beispiel, daſs mit Leinöl getränktes Baumwollenzeug sich binnen 3 Stunden entzündete. Die Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand wurde aber vorzugsweise erregt, als in dem auf einer Insel in der Neva gelegenen, bloſs aus Stein und Metall erbaueten Magazine zur Nachtzeit Feuer ausbrach, ungeachtet niemand darin befindlich war und keine begangene Unvorsichtigkeit Ursache seyn konnte. Man vermuthete, daſs mit Leinöl genäſster und eingewickelter Hanf sich entzündet habe, um so mehr, als im J. 1781 der Brand auf einer Fregatte von Bündeln einer Hängmatte, worin Kienruſs und Oel zum Anstreichen befindlich war, abgeleitet wurde[7]. Eine ähnliche Ursache veranlaſste im J. 1757 das Entzünden der

1 L. Gmelin Handbuch d. Chemie. Th. I. S. 1425.
2 Journ. de Pharmacie. 1827. Sept. p. 433.
3 Philos. Trans. T. LXIII. P. I. p. 137. Journ. de Phys. T. XIII. Suppl. p. 221.
4 Buchner's Repertorium. Th. XLI. S. 430.
5 Vergl. Morozzo in Mém. de Turin. T. III. p. 478.
6 Philos. Trans. T. LXXXIV. p. 426.
7 Journ. de Phys. T. XX. p. 3 ff.

Segel im Arsenale zu Brest[1], die öftere Wiederkehr solcher Fälle zu Petersburg veranlaſste aber eine nähere Untersuchung der Sache durch Czernischef[2], wobei sich zeigte, daſs 40 ℔. Kienruſs, auf welchem eine Stunde lang 35 ℔. Hanfölfirniſs gestanden hatten, nach dem Abgieſsen des Oelfirnisses in eine Hängmatte eingewickelt, nach 19 Stunden Rauch und Feuer entwickelten, welches nach dem Oeffnen einer Thür sofort in lichte Flammen ausbrach. Aus den fortgesetzten Untersuchungen von Georgi[3] ergiebt sich, daſs der russische gröbere, sattere und schwerere Malerruſs mit fetten trocknenden Oelen etwa 5 Stunden lang getränkt, dann in Leinwand eingewickelt, bei trocknem Wetter sich binnen 16 Stunden unfehlbar entzündet, wogegen bei nasser Witterung die schon begonnene Erhitzung wenigstens wieder aufhört. Hanf mit Hanföl und Unschlitt begossen, dann eine Stunde im Backofen getrocknet und in eine erwärmte Bastmatte gewickelt, wurde in einer Stunde warm und entzündete sich nach drei Stunden. Ebenso verhielt sich Schafwolle und sogar ein alter wollener Rock und ein Pack Kuhhaare, als sie auf gleiche Weise behandelt waren. Georgi's Versuche erstrecken sich noch ferner auf eine Menge anderer Substanzen, indem er fand, daſs Kleie, Mehl, Grütze, Reis, Erbsen, Bohnen, Kaffee, Sägespähne und sonstige vegetabilische Substanzen, wenn sie geröstet und noch warm in Leinwand fest eingewickelt sind, sich bald erhitzen und entzünden[4]. Fest zusammengelegte Packete gefirniſsten Taffents gerathen leicht in Brand, auch wird dieses von seidenen Strümpfen angegeben[5], am bekanntesten aber ist die Selbstentzündung des feucht zusammengeballten Strohes, Heues, des Düngers und sonstiger vegetabilischer und thierischer Substanzen, wenn sie in groſsen Massen aufgehäuft sind, indem der vorhandene Kohlenstoff um so leichter, wenn dieser Proceſs durch vorausgegangenes Rösten eingeleitet ist, das Wasser zersetzt und den Sauerstoff desselben aufnimmt, wobei dann die erzeugte Wärme zuletzt bis zur Entzündung steigt, weil sie nicht entweichen

1 Mém. de l'Acad. de Par. 1760.
2 Acta Acad. Petrop. T. III. P. I. p. 311.
3 Neue nordische Beiträge. Th. III. S. 37. Th. IV. S. 309.
4 Vergl. Buchholz in v. Crell chem. Ann. 1784. Th. I. S. 411. 483.
5 Aus American medic. Repository. T. V. in Biblioth. Brit. T. XXVI. p. 381.

kann. Eine Menge durch Versuche erhaltene und gelegentlich dargebotene Erfahrungen hierüber haben CARETTE[1], PROUST[2] und Andere bekannt gemacht, auch kommen stets noch neue Erscheinungen dieser Art vor[3], welche aber nur dann bekannt gemacht werden, wenn sie sich durch besondere Umstände auszeichnen. Dahin gehört dann auch die Entzündung der Steinkohlen, wenn sie viel Bitumen enthalten und Feuchtigkeit Zutritt zu ihnen hat, doch gehört diese Erscheinung im Ganzen genommen zu den seltenern[4]. Viel Aufsehen dagegen erregte die Beobachtung, daſs eine gewisse Sorte *pyritösen Torfs*, welcher als schwarze, erdige, mehr oder minder compacte, von Eisen und Schwefel durchdrungene Masse im Aisne-Departement gelagert vorkommt, sich beim Zutritt der Luft entzündet und beim Verbrennen viel schwefelsaures Eisen bildet[5]. Schätzbare Beiträge zur Kenntniſs der Selbstzünder hat SOMMER[6] geliefert, die sich vorzüglich auf die Untersuchung beziehen, inwiefern die Sonnenstrahlen fähig sind, in geeigneten Substanzen eine bis zur Entzündung steigende Hitze zu erzeugen, da vielfache Erfahrungen ergeben, daſs in heiſsen und trocknen Jahren Feuersbrünste ungewöhnlich häufig vorzukommen pflegen, wobei auf jeden Fall die groſse Dürre als mitwirkend zu betrachten ist. Groſse Aufmerksamkeit erregte der Umstand, daſs zu Königsberg im heiſsen Jahre 1811 am 2. Juli sich das Moos und Stroh, worauf Oelfässer gelegen hatten, und am 4. Juli an einer andern Stelle gleichfalls ohne Verdacht von Bosheit oder Nachlässigkeit entzündeten, wie dieses auch im J. 1814 bei Bastmatten und bald nachher bei den Kleidern der Oelmesser der Fall war, welche stark mit Oel getränkt und zusammengeballet gelegen hatten. SOMMER erhitzte daher mit Oel getränkte Leinwand und Flanell auf einem Dache bis zu 65° C., wickelte

1 Journ. de Phys. 1784. Nov. 1785. Août.

2 Journ. de Phys. T. XIII. Suppl. p. 432.

3 Vergl. Dingler polyt. Journ. Th. XXXV. S. 213.

4 Verschiedene Beispiele werden erzählt in Silliman Amer. Journ. T. XXXIII. p. 147. Zu Brest entzündete sich eine groſse Menge aufgehäufter Steinkohlen beim Zutritt der freien Luft. S. DUHAMEL in Mém. de l'Acad. 1757. p. 150.

5 S. POIRET in Journ. de Phys. T. LI. p. 292. T. LIII. p. 1. T. LV. p. 189. Im Ausz. in G. XIV. 469.

6 G. LXIII. 426.

beides fest zusammen, legte es in Stroh, welches gleichfalls der Sonnenhitze ausgesetzt gewesen war, und bedeckte das Ganze, in einem Kessel befindlich, mit einem Federkissen. Ungeachtet im Versuchszimmer die Wärme nur 25° C. betrug, erhitzte sich die Masse im Innern bedeutend, verbreitete einen brenzlichen Geruch, war am folgenden Tage im Innern verkohlt und brannte nach Wegnahme des Kissens mit heller Flamme. Auf ähnliche Weise mit Oel befeuchtete Sägespähne, in einem kattunenen Sacke mit einer wollenen Decke und Stroh umgeben, nachdem dieses alles bis 44° C. in der Sonne erhitzt, zusammengeballet, in einen Kessel gelegt und mit einem Federkissen bedeckt worden war, geriethen in Brand und loderten nach Wegnahme des zum Theil verkohlten Kissens mit Flamme auf. Als dieses Pack mit Wasser gelöscht, dann aber auf eine trockne Stelle im Garten geworfen worden und bei 24° Temperatur der Luft der Mittagssonne ausgesetzt gewesen war, entzündete es sich abermals, woraus also die Möglichkeit solcher Selbstzündungen augenfällig hervorgeht.

128) Selbstzünder sind nirgend gefährlicher als in Pulverfabriken, und es war daher eine wichtige Frage, ob Kohlen, deren man zum Schieſspulver in beträchtlicher Menge bedarf, so aufbewahrt, wie dieses für den gegebenen Zweck zu geschehen pflegt, sich freiwillig entzünden, um zugleich die Mittel kennen zu lernen, wodurch dieses verhütet wird. Veranlassung zur näheren Untersuchung der Sache gab die im Jahre 1799 in der Pulverfabrik zu Essanne beobachtete, durch Robin[1] beschriebene Selbstentzündung des Kohlenpulvers im Beutelkasten, als dieser geöffnet wurde. Zum Schieſspulver nimmt man bekanntlich nur Kohlen von weichem Holze, namentlich vom Faulbaum, und von dieser Art war auch das Kohlenpulver, welches im genannten Falle sich entzündete und selbst durch zugegossenes Wasser nicht gelöscht wurde, bis es mit einem Besen untergetaucht war. B. G. Sage[2] meint, das Aufsaugen der feuchten Luft gebe Veranlassung zu der Erhitzung, wodurch dann eine Zersetzung des Wassers und nachfolgende Entzündung herbeigeführt werde; auch erzählt er von Fällen, in denen sich aufgeschüttete groſse Massen von Kohlen von selbst

---

1 Ann. de Chim. T. XXXV. p. 93.

2 Journ. de Phys. 1807. p. 423. G. XXIX. 93.

entzündeten. Die genauesten Untersuchungen über diesen Gegenstand hat AUBERT[1] angestellt. Hiernach nimmt die mittelst Bronzekugeln sehr fein zerriebene Kohle, welche das Aussehen einer dickflüssigen Flüssigkeit hat, einen dreimal kleineren Raum ein, als in Stangen von 15 bis 16 Centim. Länge, absorbirt langsam Luft und erhöht dadurch ihre Wärme bis 170° oder 180° C. Hierdurch wird die Entzündung bewirkt, welche in der Mitte ungefähr 12 bis 15 Centim. unter der Oberfläche beginnt und in der geringen Leitungsfähigkeit der Umgebung ein bedeutendes Beförderungsmittel findet. Es muſs nothwendig eine gröſsere Masse vorhanden seyn, denn die schwarze, stark destillirte Kohle, die sich am leichtesten entzündet, muſs mindestens 30 Kilogramm betragen, wenn eine Entzündung statt finden soll, die um so leichter entsteht, je kürzere Zeit zwischen Verkohlung und Zerreibung verflieſst, weil sonst in der längeren Zwischenzeit schon feuchte Luft absorbirt wird; denn freier Zutritt der Luft überhaupt und zur Oberfläche der Kohle insbesondere ist nothwendige Bedingung. Der Zusatz von Schwefel und Salpeter hebt die Fähigkeit der Selbstentzündung auf, doch ist es rathsam, dieses Gemenge nicht in zu groſsen Quantitäten aufzubewahren, weil die Luftabsorption dabei noch fortdauert, die demnach dennoch eine Entzündung herbeiführen könnte. Genau hiermit übereinstimmend sind die Erfahrungen und die Resultate der Versuche, welche WILLIAM HADFIELD[2] gemacht hat. Aus seiner 25jährigen Praxis in der Bereitung von Kohlen führt er einige entscheidende Erfahrungen an, wonach die Kohlen gewiſs nicht durch rückbleibendes Glühen, wie zuweilen gleichfalls sich ereignet, sondern durch eine von innen ausgehende Erhitzung sich entzündeten, wobei jedoch sehr wahrscheinlich der Umstand mitwirkte, daſs die gefahrenen Kohlen theilweise zu Pulver zerrieben waren. Nach seinen Versuchen erhitzten sich oberflächlich pulverisirte Kohlen in kleineren Quantitäten jederzeit, aber nicht bis zur Temperatur des siedenden Wassers. Als aber gröſsere Haufen fein pulverisirter Kohle aufgehäuft lagen, entstand Entzündung nahe unter der Oberfläche, und bei einem Versuche trat diese ein,

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLV. p. 73. Poggendorff's Ann. XX. 451. Im Auszuge in Philos. Mag. and Ann. N. S. T. IX. p. 148.

2 London and Edinb. Philos. Mag. N. XIII. p. 1.

obgleich die ganze Masse mehrere Tage hindurch in einzelnen Haufen der Luft ausgesetzt gelegen hatte; einige Tage nach dem Auslöschen des brennenden Theiles durch Wasser entstand abermals Entzündung in dem nämlichen Haufen[1]. HADFIELD sperrte Kohlenpulver unter Sauerstoffgas ab, fand aber keine Absorption dieser Gasart und Erzeugung von Kohlensäure.

129) Unter die sich selbst entzündenden Körper gehören unzweifelhaft vorzugsweise die so genannten *Selbstzünder* oder *Pyrophore*. Da hierüber schon in einem eigenen Artikel[2] gehandelt und darin die Ursache des Entzündens angegeben worden ist, so wird es genügen, hier nur noch einige praktische Bemerkungen hinzuzufügen. Der gebräuchlichste Pyrophor, den man gewöhnlich zu bereiten pflegt, der sogenannte *Homberg'sche*, besteht dem Gewichte nach aus gleichen Theilen gebranntem Alaun, kohlensäuerlichem Kali (gereinigte Pottasche in nicht feuchtem Zustande) und Kienrufs. Um ihn zu verfertigen, erhitzt man Alaunkrystalle in einem geeigneten metallenen Gefäfse, in Ermangelung eines andern auf einer Ofenschaufel. Der Alaun blähet sich stark auf, das Wasser entweicht in Dampfform und man erhält zuletzt eine weifse, trockne, leicht zerreibliche Masse, welche man in ein gehörig feines Pulver verwandelt und mit dem abgewogenen Kali und dem Kienrufs hinlänglich mengt. Am besten füllt man ein Medicinglas[3] von dünnem Glase, etwa 2 bis 3 Zoll hoch und 1 bis 1,5 Zoll weit, mit diesem Pulver zu $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ voll, setzt dieses in einen Schmelztiegel und umgiebt es mit trocknem Sande bis zur Mündung, setzt diesen Tiegel in einen Windofen und bringt ihn allmälig zum Glühen, welches man eine gehörige Zeit unterhalten mufs. Geschähe dieses allzulange, so würde die enthaltene Kohle gänzlich verbrennen und das Product unbrauchbar seyn, doch ist dieses nicht leicht zu fürchten; meistens ist man geneigt, es zu früh zu unterbrechen, in welchem Falle der Pyrophor sich nicht entzündet. Meistens steigt anfangs etwas Rauch aus der Mündung des Glases, verschwindet aber, wenn das Glühen vollständig statt findet. Von dieser Zeit an mufs man

1 Ueber die Entzündung der Kohle durch Reiben ist oben §. 101 geredet worden, da diese Erscheinung einer andern Classe zugehört.

2 S. Art. *Pyrophor*. Bd. VII. S. 1014.

3 Fürchtet man das Zerspringen des Glases, so thut auch ein kleiner irdener Krug gute Dienste.

beachten, ob eine kurze hellbläuliche Flamme aus der Oeffnung des Glases aufsteigt, deren Beginnen man wahrnimmt, wenn man etwas bläst oder einen brennenden Spahn der Oeffnung nähert; das Flämmchen erlischt zuweilen und entzündet sich abermals von selbst mit einer geringen, kaum hörbaren Explosion; auf jeden Fall kann man es 5 bis 10 Minuten brennen lassen. Alsdann mufs ein vorher eingepafster Kreidestöpsel bereit seyn, womit man die Oeffnung des Glases verschliefst; man entfernt die Kohlen, nimmt den Tiegel heraus, setzt ihn zur Verhütung des Springens an einem trocknen Orte auf einen Stein, und wenn er genügend erkaltet ist, steckt man statt des Kreidestöpsels einen Korkstöpsel auf, den man später gehörig fest eindrückt und mit Wachs oder Pech übergiefst, wenn man den Pyrophor länger aufheben will, da dieses ein und mehrere Jahre geschehen kann. Ein gut gerathener Pyrophor entzündet sich schon beim Ausschütten in der Luft, auf jeden Fall auf Papier oder Holz liegend beim Zutritte der feuchten Luft, und verbrennt vollständig zu Asche.

130) Homberg[1] nahm zufällig die Entzündung dieses nach ihm benannten Pyrophors wahr, als er Menschenkoth mit Alaun destillirt hatte, und Lemery[2] fand nachher, dafs alle viel Kohlenstoff enthaltende Körper, als Honig, Mehl, Zucker u. s. w., dazu tauglich seyen, so wie Savigny[3] nachwies, dafs man auch andere schwefelsaure Salze, als Glaubersalz oder schwefelsaures Kali, dazu nehmen könne. Scheele und Bergmann gelangten durch ihre Untersuchungen zu dem richtigen Resultate[4], dafs das Alkali dabei eine wichtige Rolle spielt und man auch aus 1 Th. Alkali, 0,25 Schwefel und $\frac{1}{3}$ Kohlenstaub einen Pyrophor bereiten könne. Nach Silliman[5] geben 3 Th. Lampenrufs, 4 Th. calcinirter Alaun und 8 Th. Perlasche, gemengt und in einer eisernen, mit einem Kreidestöpsel verstopften, Röhre bis zum Rothglühen erhitzt, einen Pyrophor, welcher sich nicht blofs von selbst entzündet, sondern mit einem eisernen Stabe berührt sogar zuweilen eine Explosion, wie Schiefspulver, veranlafst.

---

1 Mém. de l'Acad. 1710. u. 1711.
2 Ebendaselbst. 1714. u. 1715.
3 Mém. presentés. T. III.
4 V. Crell's chem. Annalen 1786. Bd. I. Journ. de Phys. T. XXIX. p. 330.
5 Amer. Journ. of Sc. T. X. p. 367.

Aufser diesen sämmtlich auf fast gleichmäfsige Weise bereiteten Pyrophoren giebt es aber noch eine Menge Selbstzünder, deren Bekanntwerdung das Feld der Untersuchung dieser Entzündungen bedeutend erweitert hat[1]. Die älteren zum Theil falschen, zum Theil ungenügenden Erklärungen, z. B. von Scheele, Bergmann, Lemery, Wiegleb, Göttling und Anderen, beziehen sich zunächst nur auf den beschriebenen Homberg'schen Pyrophor, und sind nebst eigenen Ansichten durch Gren[2] zusammengestellt worden; nach Döbereiner[3] ist die Entzündung eine Folge des vorhandenen Kalis oder Natrons, welche in fein zertheiltem Zustande mit Schwefel und Kohle verbunden sich entzünden, Berzelius[4] aber findet die Ursache darin, dafs von zwei vereinten Körpern der eine den andern disponirt, sich mit Sauerstoff zu verbinden, woraus dann die durch Cooper, Arfredson, Wöhler und Anderen erhaltenen Pyrophore aus Kohle und einem Metalle, namentlich Platin, Antimon u. a., erklärt würden. Von grofser Wichtigkeit sind die genauen Untersuchungen von Gay-Lussac[5], woraus hervorgeht, dafs kein freies Kalium oder Natrium vorhanden ist, weil durch Hinzukommen von Wasser kein Wasserstoffgas frei wird. Nach ihm ist die Kohle kein nothwendiger Bestandtheil; denn 75 Gr. Alaun mit 3,33 Gr. Kienrufs, durch Weifsglühhitze in eine rothbraune Masse verwandelt, entzündeten sich ohne eine Spur vorhandener Kohle. Auch die Thonerde ist nicht nothwendig, denn 1 Atom schwefels. Kali mit 3 At. schwefelsaurer Magnesia geglüht gab einen guten Pyrophor, und daher scheinen Thonerde und Magnesia nur zur besseren Zertheilung des Schwefelkaliums zu dienen. Ein Gemenge aus 27,3 Gr. schwefelsaures Kali mit 7,5 Gr. Kohle geglühet gab keinen Pyrophor, als aber die doppelte Quantität Kohle genommen worden war, zeigte sich eine mit Gefahr verbundene Entzündlichkeit, wozu die Anwesenheit der feuchten Luft nicht erforderlich war, und ebenso verhielt sich ein Gemenge aus schwefelsaurem Natron mit Kienrufs. Die

---

1 Eine grofse Zahl wird beschrieben durch Proust im Journ. de Phys. T. XIII. p. 432. Uebers. in Gehlen's Journ. Th. VI. S. 365.

2 System. Handbuch d. gesammten Chemie. Th. I. §. 787.

3 Schweigger's Journ. Th. XVI. S. 118.

4 Jahresbericht 1825. S. 70.

5 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 415. Poggendorff's Ann. XIII. 299.

grofse Entzündlichkeit dieser Pyrophore, verglichen mit der der gewöhnlichen, scheint von der stärkeren Vertheilung, von der Abwesenheit einer unwirksamen erdigen Substanz und ohne Zweifel von einer geringeren Menge von Schwefel abzuhängen. POGGENDORFF zeigt, indem er dieser Erklärung beitritt, zugleich, dafs sie auch auf die verschiedenen sonstigen Pyrophore Anwendung leidet, in denen das Brennbare aus fein vertheiltem Eisen, Nickel oder Kobalt besteht, z. B. die von MAGNUS[1] beschriebenen, wie gleichfalls nicht minder auf die Selbstentzündlichkeit der Uran-Metallsalze[2], des aus Realgar durch Kali abzuscheidenden Schwefelarseniks[3] und des feingepulverten Fliegenkobalts[4]. Mit Recht erinnert POGGENDORFF zugleich an die Entzündung, die durch Verdichtung des Wasserstoffgases in Berührung mit fein vertheilten Metallen erzeugt wird, wohin die Pyrophore gehören mögen, die man durch Glühen von Platinsalmiak mit Korkspähnen, durch Zersetzung des weinsteinsauren Antimonammoniaks und durch Glühen von Grünspan mit Korkkohle in Wasserstoffgas erhält. Die Zahl der Pyrophore liefse sich leicht noch bedeutend vermehren, wenn man mehrere Angaben darüber aufsuchen wollte. So erwähnt WALKER, dafs 2,5 Theile von ihres Krystallisationswassers beraubter Weinsteinsäure, in einem trocknen Behälter genau gemengt mit 8 Th. vollkommen trocknem und pulverisirtem Bleiperoxyd, sich bald entzünden und lange lebhaft glühend bleiben. BÖTTIGER wiederholte diese Versuche und dehnte sie auf andere organische Säuren aus, wobei er fand, dafs 5,25 Th. Bleiperoxyd mit einem Theil in heifser Luft getrockneter Oxalsäure auf gleiche Weise verbunden sich beinahe augenblicklich entzündeten, doch dauerte das Glühen kürzere Zeit, weil die Säure weniger Kohlenstoff enthält. Ein Atom Citronensäure, einige Zeit in Flufs erhalten, dann getrocknet und pulverisirt, dann schnell mit 2 Atomen Bleiperoxyd gemengt, entzündet sich sogleich und glühet geraume Zeit[5].

---

1 Poggendorff's Ann. III. 81.

2 Ebendaselbst I. 258. 267.

3 Ebendaselbst VII. 155.

4 Trommsdorff's Journ. 1794. Th. II. S. 179. BOULLAY in Journ. de Pharm. 1827. p. 433.

5 Aus L'Institut 1837, März in London and Edinb. Phil. Mag. N. LXI. p. 319.

131) Unter die Classe der Selbstzündungen gehört auch ein im Ganzen glücklicherweise seltenes, aber doch schon oft vorgekommenes Phänomen, nämlich das, ohne Hinzukommen des Feuers von aufsen, vielmehr von innen ausgehende *Selbstverbrennen der Menschen.* Gänzliche Abwesenheit einer Einwirkung des Feuers von aufsen ist bei der hier zu betrachtenden Thatsache nothwendige Bedingung, weswegen man sich viele Mühe gegeben hat, bei den einzelnen vorgekommenen Fällen den Beweis hierüber zu führen. Da solche Katastrophen selten sind, Feuerzeuge und Feuer aber zu den gewöhnlichsten Umgebungen der Menschen gehören, so war dieses allerdings mit einigen Schwierigkeiten verbunden, es läfst sich aber annehmen, dafs in einigen Fällen die Abwesenheit jedes äufserlich einwirkenden Feuers mindestens höchst wahrscheinlich, in einigen anderen Fällen völlig erwiesen war. Das Selbstverbrennen der Menschen besteht in einer von innen ausgehenden, mit äufserlich auflodernder leichter Flamme verbundenen Zersetzung der weichen Theile des menschlichen Körpers, wodurch diese in eine höchst widerlich riechende, dickflüssige Jauche mit Zurücklassung der härteren Knochen verwandelt werden, zuweilen geht aber die Zersetzung nur bis zu einer schwärzenden Verkohlung. Besonders sind Personen weiblichen Geschlechts und namentlich sehr corpulente, durch anhaltenden übermäfsigen Genufs geistiger Getränke zerrüttete diesem Schicksal ausgesetzt, und es sollen aus dieser Ursache bei den Samojeden, die viel Branntwein trinken, nach Malte-Brun[1] verhältnifsmäfsig viele Fälle dieser Art vorkommen. Eins der ältesten bekannten Beispiele ist das der Gräfin Zangari[2], aufserdem aber erwähnt Marozzo[3] das der Gräfin Cornelia Bandi, welche bis auf die Beine in Asche verwandelt wurde, so wie einer gewissen Grace Pitt, bei welcher die Entzündung von dem Innern der Eingeweide auszugehen schien, und eines gewissen Priesters von Bergamo, welcher auf gleiche Weise verzehrt wurde. Diese und noch andere Beispiele hat Socquet[4] gesammelt, ausführlich aber ist dieser Gegenstand behandelt worden durch

1 Précis de la Géographie universelle. T. V. p. 477.
2 Philos. Trans. 1731. N. 476.
3 Mém. de l'Acad. de Turin. T. III. p. 483.
4 Essay sur le Calorique. Par. An IX.

Lair[1] und Ritter[2], am vollständigsten durch J. H. Kopp[3], welcher die bis dahin bekannt gewordenen Fälle aufzählt und genauer beschreibt, so weit sie mit den begleitenden Umständen bekannt geworden sind. Ein sehr interessanter und genau constatirter Fall ist die Selbstverbrennung des Priesters G. Maria Bertholi aus Valere, welchen der Arzt Battaglia[4] beschrieben hat. Dieser Geistliche, weder corpulent, noch dem übermäſsigen Genusse geistiger Getränke ergeben, kam ermüdet von einer langen Fuſstour an einem heiſsen Tage bei einem Bekannten zum Uebernachten in Filetto an, wünschte einige Zeit allein zu seyn, um sich umzukleiden und sein Abendgebet zu verrichten, ehe er sich durch ein Nachtessen erquickte, und war daher allein in seinem Zimmer. Nach einiger Zeit hörte sein Gastwirth ein klägliches Geschrei desselben, ging zu ihm und fand ihn auf den Boden hingestreckt; er bemerkte eine leichte Flamme in der Gegend seiner Schultern, welche sogleich erlosch; doch war der rechte Hemdärmel verbrannt, aber die Mütze, Unterbeinkleider und Haupthaar nicht einmal versengt, auch bemerkte man keinen widerlichen Geruch im Zimmer. Am folgenden Tage erzählte der Patient dem herbeigerufenen Arzte Battaglia von Ponte-Bosio, er habe einen plötzlichen Schlag, wie von einer Keule, auf den rechten Arm bekommen und dabei einen Feuerfunken an seinem Hemde gewahrt, wodurch dieses verbrannt sey. Die Haut des rechten Vorderarmes, die Integumente seines oberen Theiles und des Rückens bis zu den Lenden waren fast ganz vom Fleische abgelöset und hingen in Lappen herab, die verletzten Stellen wurden schnell brandig, es trat Fieber mit Delirium ein, anhaltendes Erbrechen, fauliger Stuhlgang und am vierten Tage erfolgte der Tod mit Zeichen schneller Fäulniſs. Da sich eine Lampe in seinem Zimmer befand, so ist der Mangel jeder von auſsen einwirkenden Entzündung nicht gewiſs, wie in dem ähnlichen Falle, welchen Scherf[5] erzählt. Ein 48 Jahre alter starker Branntweintrinker wurde

1 Essai sur les combust. hum. produites par l'abus des liqueurs spir. Par. An VIII.

2 Ueber Selbstentzündungen. Hamb. 1804.

3 Ausführliche Darstellung der Selbstverbrennungen des menschl. Körpers. Frankf. 1811.

4 Fouquet Bibliothèque salutaire. Par. 1801.

5 Kopp's Jahrbuch der Staatsarzneikunde. 1815. S. 383.

Abends berauscht ins Bette gelegt, am andern Morgen aber fand man die unbedeckten Theile, das Gesicht, die rechte Hand und die grofse Zehe des rechten Fufses verkohlt oder verzehrt, alle vom Bette oder Kleidungsstücken bedeckten Theile aber unversehrt. Bette und Decke hatten wenig gelitten, doch war letztere mit einer rufsigen, schmierigen Masse überzogen und das Zimmer mit einem undurchsichtigen stinkenden Dampfe erfüllt. Ein anderes Beispiel ist das von einem Manne, welcher leicht gekleidet in Hemdärmeln stand und plötzlich eine Flamme am Mittelfinger seiner rechten Hand gewahrte, durch welche seine leinenen Beinkleider und nachher sein Hemde entzündet wurden, als er den Finger daran rieb. Die Personen seiner Umgebung sandten zu einem Priester, um den vermeintlichen Teufel auszutreiben, dieser aber erklärte vernünftig, dafs der Fall vor den Arzt gehöre, und der Patient wurde geheilt[1]. Diesem ähnlich ist der Fall bei einem Mädchen, welches im ganzen Körper Hitze spürte, vorzüglich in der linken Hand, deren Temperatur während dessen stets höher war. Zweimal fing der Zeigefinger dieser Hand mit einer blauen, nur im Dunklen sichtbaren Flamme an zu brennen und verbreitete einen Geruch nach Schwefel. In Wasser getaucht schien die ganze Hand zu brennen (?), welche in die Schürze gewickelt, und als sie aus einem fremden Hause nach ihrem eigenen zurückgelaufen war, erst nach dem Eintauchen in Milch keine weitere Spur des Brennens zeigte. Später erhielt das Mädchen einige Blattern an der inneren Seite dieser Hand, und als sie wegen Uebelbefindens in das Hospital ging, kehrte dort das Brennen zum zweiten Male wieder; sie wurde indefs geheilt. Aeufsere Verletzungen waren nicht angerichtet, auch zeigte sich keine Spur von Elektricität[2]. Die neuesten ausführlichen Untersuchungen über diesen Gegenstand sind von Julia Fontenelle[3], welcher

---

1 Nouveau Journ. de Médec. 1822. Dec. Hufeland's Journ. 1823. Juni. S. 119.

2 Aus Hecker's Zeitschrift 1825. Aug. in London medical repository. T. III. p. 79. Vergl. Rudolphi Physiologie Th. I. S. 212. Die ganze Erzählung klingt übrigens etwas verdächtig, namentlich die mit einem bei den niederen Volksclassen gangbaren Vorurtheile übereinstimmende Angabe, dafs das Brennen nicht durch Wasser, sondern nur durch Milch gelöscht werden konnte.

3 Edinburgh New Phil. Journ. N. IX. p. 164.

jedoch die hier angegebene frühere Literatur nicht vollständig gekannt zu haben scheint. Nach seiner Ansicht trifft dieses Schicksal in der Regel nur bejahrte Personen, und bei einem Mädchen von 17 Jahren war die Verbrennung bloſs partiell. Ferner sollen nur die innern Theile verbrennen, die Extremitäten aber meistens verschont bleiben, was jedoch mit andern Angaben nicht übereinstimmt; das Feuer soll ferner anderweitige sehr entzündliche Substanzen nicht ergreifen, wie namentlich in einem Zimmer der Fall gewesen seyn soll, worin zwei Personen zugleich verbrannten, — ein allerdings kaum glaubliches Zusammentreffen. Wasser scheint die Flamme eher zu verstärken, als auszulöschen, und nach dem Aufhören derselben beginnt erst die gänzliche Zersetzung von innen. Ferner sollen diese Verbrennungen im Winter häufiger seyn, als im Sommer, was theoretischen Gründen widerspricht, indem nicht bloſs das Leben, sondern auch alle Zersetzungsprocesse in der Wärme gesteigert sind, so daſs man glauben sollte, wenn wirklich solche Fälle im Winter häufiger vorkommen, sie seyen nicht ohne Einfluſs äuſsern Feuers gewesen, womit man im Winter so vielseitig umgeben ist. Gegen die allgemeinen Selbstverbrennungsprocesse soll es endlich kein Mittel geben, weil der Zersetzungsproceſs plötzlich eintritt und der Körper in wenigen Stunden gänzlich verzehrt wird, so daſs bloſs fettige Asche und eine stark widerlich riechende Jauche zurückbleibt; die partiellen aber, die bloſs einzelne Glieder treffen, werden meistens geheilt oder sind mindestens nicht tödtlich.

132) Wenn die hier angegebenen, von so vielen verschiedenen Seiten her bestätigten Thatsachen, die Erhitzungen, die Flammen, die Verwandlungen des ganzen menschlichen Körpers in eine stinkende Jauche u. s. w. gegründet sind, so unterliegt es keinem Zweifel, daſs diese Erscheinungen zur allgemeinen Classe der Selbstzündungen gehören. Inzwischen meint Dupuytren [1], die Entzündung erfolge bloſs durch äuſserlich hinzukommendes Feuer, wobei dann die Jauche ein Erzeugniſs des geschmolzenen Fettes sey, eine Ansicht, die mit den vielen glaubhaften Erzählungen sich nicht wohl vereinigen läſst. Lair, welcher die Erscheinung als Folge des übermäſsigen Genusses geistiger Getränke ansah, suchte die

1 Froriep Notizen. Th. XXVI. S. 300.

Ursache des seltsamen Phänomens in einer Entzündung des Weingeistes durch thierische Wärme. Marc, Kopp und die meisten Andern glauben, es entwickele sich viel Wasserstoffgas, welches durch Elektricität oder aufgelösten Phosphor entzündet werde; Fontanelle verwirft Beides und auch die Hypothese, dafs eine unverhältnifsmäfsig starke Verbindung mit Sauerstoff eintrete, weil keine aufserordentliche Hitze statt finde und weder Kohle noch Ammoniak erzeugt werde, vielmehr hält er den ganzen Procefs für eine Zersetzung der weichen animalischen Theile. H. F. Thyssen[1] leitet die Selbstverbrennung von Phosphorwasserstoffgas ab, zu welchem Sauerstoffgas aus den Lungen tritt; sie soll daher von der Brust ausgehn und der brennende Athem der Branntweintrinker daraus erklärlich seyn, Dr. Bally[2] dagegen führt sie auf blofses Wasserstoffgas zurück, welches durch einen elektrischen Funken entzündet werde. Auf diese Idee führte ihn der Umstand, dafs er bei einer Section eines am Typhus verstorbenen Patienten eine Menge dieses Gases in den innern Höhlungen fand.

Vor allen Dingen mufs wohl bei diesen Erklärungen die Elektricität ganz aus dem Spiele bleiben, deren vermehrte Entbindung durch nichts bedingt, vielmehr bei fehlender Isolirung ganz unmöglich ist, so wie ein eigentlicher, zur Entzündung erforderlicher, elektrischer Funke. Abstrahiren wir hiervon, so wird durch den animalischen Lebensprocefs stets eine bedeutende Menge Wärme entwickelt, welche durch ungewöhnliche Energie leicht bis zu einem Grade gesteigert werden kann, wie er zur Entzündung der Pyrophore nach den angegebenen Beispielen erforderlich ist. Aufserdem gehört reichliche Entbindung von unreinem, kohlenstoff-, schwefel- uud phosphorhaltigem Wasserstoffgas zu den nicht ungewöhnlichen Erscheinungen des menschlichen Lebensprocesses, weswegen Treviranus[3] das im Zellgewebe enthaltene Phosphorwasserstoffgas als wesentlich mitwirkend betrachtet, und da mit dem thierischen Leben die Aufnahme von Sauerstoffgas stets ver-

---

1 Bydragen to de natuurkund. Wetenschappen. Amst. 1826. N. III. p. 214.

2 Gaz. méd. 1831. N. 2. Dublin Journ. N. IX. p. 311.

3 Biologie. T. V. p. 138.

bunden ist, so gehört eine Steigerung dieser Processe bis zu einem Grade, dafs im Anfange eine wirkliche Flamme erscheint und eine Zerstörung der sämmtlichen weichen Theile darauf folgt, keineswegs unter die nicht vorstellbaren Erscheinungen, die sich füglich den vielen Pyrophoren anreihen lassen.

133) Eine nicht geringe Menge von Körpern werden durch äufsere Ursachen, namentlich durch Erwärmung oder durch mechanischen Druck, vermocht, neue chemische Verbindungen unter Entbindung von Licht und Wärme einzugehn, wohin unter andern namentlich die *detonirenden Substanzen* gehören. Die bekannteste hier zu erwähnende Verbindung ist das gewöhnliche *Schiefspulver*, wovon jedoch bereits ausführlich gehandelt wurde[1], und es möge daher hier nur nachträglich bemerkt werden, dafs nach Ure[2] dasselbe bestehn soll aus

| | | | |
|---|---|---|---|
| 76,2 Salpeter, | 14,0 Kohle, | 9,0 Schwefel, | 0,5 Wasser, |
| 77,4 — | 13,5 — | 8,5 — | 0,6 — |
| 76,7 — | 12,5 — | 9,0 — | 1,1 — |
| 77,0 — | 13,5 — | 8,0 — | 0,8 — |

nach stöchiometrischen Verhältnissen aber aus 75,0 Salpeter, 11,77 Schwefel und 13,23 Kohle; das daraus entbundene Gas würde dann nach seiner Meinung einen 787,3mal so grofsen Raum einnehmen[3]. Hieran reihet sich das seit langen Zeiten

1 S. Art. *Schiefspulver*. Bd. VIII. S. 324.

2 Journ. of the Royal Inst. 1830. Oct. N. I. p. 121.

3 Bei einem so allgemein interessanten Gegenstande füge ich noch Folgendes hinzu. Gewifs ist, dafs Roger Baco (geb. 1216, gest. 1284) in seinem Buche de nullitate magiae sagt, man könne nach Willkür Blitz und Donner erregen, wenn man Salpeter, Schwefel und Kohle vermenge. Vermuthlich machte Schwarz im Jahre 1300 den Gebrauch des Schiefspulvers den Venetianern bekannt, die sich dessen zuerst im Kriege gegen die Genuesen bedienten. In der Schlacht bei Crecy 1343 waren 5 Kanonen.

Ueber die elastischen Flüssigkeiten, welche durch das Verbrennen des Schiefspulvers entwickelt werden und Ursache seiner Wurfkraft sind, giebt es viele ältere Untersuchungen, z. B. von Newton in Opt. qu. X., Wolf, Boyle, Hawksbee, Mariotte, Papin, Joh. Bernoulli, de la Hire, Belidor, Saluce in Miscell. Taurin. T. I. p. 1 u. 15. T. II. p. 94. u. v. A. Eine ausführliche Erörterung seiner Kraft als Folge der erhitzten Luft und der Wasserdämpfe hat Vandelli in Comm. Soc. Bonon. T. IV. p. 106 mitgetheilt. Hutton in

bekannte *Knallpulver*[1] (*Pulvis tonans;* poudre fulminante), desgleichen die nach den enthaltenen Metallen benannten explodirenden Mischungen, das *Knallgold* (*Aurum fulminans;* Or fulminant)[2], HOWARD's *Knallquecksilber*[3] und HOWARD's, BRUGNATELLI's und BERTHOLLET's noch stärkeres *Knallsilber*[4] (*Argentum fulminans;* Argent fulminant), nach den neuesten Untersuchungen sämmtlich sogenannte *knallsaure Salze.* Insbesondere giebt das *chlorsaure Kali,* anfangs *hyperoxygenirt-salzsaures Kali* genannt, eine Menge Verbindungen, welche durch chemische Zersetzung oder durch mechanischen Druck sich entzünden und meistens stark detoniren[5]. Am auffallendsten zeigt sich dieses, wenn man dünne Plättchen Phosphor mit chlorsaurem Kali bestreuet und auf einem Ambos liegend mit einem schweren Hammer schlägt. Die mit furchtbarem Knalle verbundene heftige Explosion ist eine Folge davon, dafs der Phosphor mit dem entbundenen Sauerstoffgas verbrennt und Chlorphosphor gebildet wird. Der Versuch ist zwar imposant und wegen der momentan erfolgenden, unerwartet heftigen Verbindung mit Erzeugung von

---

Tracts T. III. p. 201 giebt an, dafs nach ROBINS der Raum der aus dem Pulver entwickelten elast. Flüssigkeiten 244mal der des Pulvers sey; durch Glühhitze würden diese dann $4\frac{1}{11}$mal ausgedehnt, und gäben daher eine Kraft von $244 \times 4\frac{1}{11} = 998$ oder in runder Zahl von 1000 Atmosphären. Die neuern Untersuchungen geben hierüber genauere Resultate. SALZER Vers. über d. Schiefspulver. Carlsr. 1823. S. 18 erhielt aus 0,25 Gr. Schiefspulver, wovon 350 Körner 1 Gr. wogen, 0,19 Cub. Z. Gas, aus 0,09 Kohlensäure, 0,04 Sauerstoffgas und 0,06 Stickgas bestehend.

1 S. Art. *Kalium.* Bd. V. S. 840. Vergl. INGENHOUSS vermischte Schriften. Th. I. S. 335.

2 S. Art. *Gold.* Bd. IV. S. 1610.

3 S. Art. *Quecksilber.* Bd. VII. S. 1021. Vergl. GMELIN's Handbuch d. Chemie. Th. I. S. 1316.

4 S. Art. *Silber.* Bd. VIII. S. 799. Vergl. GMELIN's Handbuch. Th. I. S. 1352 u. 1357.

5 S. Art. *Kalium.* Bd. V. S. 841. Die Zahl der auf diese Weise sich entzündenden Substanzen liefse sich noch bedeutend vermehren, wenn es der Mühe werth wäre, die einzelnen aufzusuchen. So entzünden sich 3 Th. braunes Bleioxyd mit 1 Th. Schwefel nach VAUQUELIN in Ann. de Chim. T. LXII. p. 221, wenn sie heftig in einem Mörser gerieben werden; auch entzündet sich jenes Oxyd nach VOGEL in schwefligsaurem Gas. S. Kastner's Archiv. Th. IV. S. 436.

Licht und Wärme von grofsem Interesse, läfst sich am grofsartigsten anstellen, wenn man den Phosphor mit mindestens dem doppelten Volumen des Salzes vereint in Papier einwickelt und der allgemeineren Verbrennung wegen mit einem schweren Hammer schlägt, allein er ist dann auch sehr gefährlich, weil der Phosphor durch die heftige Explosion allseitig umhergeworfen wird und entzünden kann. Ohne Gefahr läfst sich der Versuch aber so anstellen, dafs man eine kleine Quantität Phosphor auf einem Ambos in einer sehr dünnen Lage mit einem Messer festdrückt, mit dem Salze bestreuet und dann mit einem Hammer darauf schlägt; der diesemnach festklebende Phosphor fliegt nur in kleinen Quantitäten zur Seite, doch ist es räthlich, im Augenblicke des Schlagens die Augen zu schliefsen. Zerreibt man in einem erwärmten Mörser von Serpentinstein eine geringe Menge Schwefelblumen so, dafs blofs ein kleiner Theil derselben an den Wandungen hängen bleibt, indem man den Rest ausschüttet, auch sogar den Mörser mit einem leinenen Tuche auswischen kann, schüttet man demnächst eine kleine Quantität des Salzes hinein und reibt mit dem Pistill, so hört man ein anhaltendes, mit Funkensprühen verbundenes Knistern oder Prasseln, welches bei etwas gröfserer Menge zur heftigsten, gefährlich werdenden Detonation übergeht. Wurzer[1] rieb auf diese Weise nicht mehr als 1,5 Gran, und es entstand plötzlich ein betäubender Knall mit einer zwei Fufs hohen Flamme, die einen Theil seiner Kleider verbrannte, und doch blieb noch 0,5 Gran der Substanz unzersetzt.

Wegen der grofsen Entzündbarkeit dieser Substanzen durch blofsen Stofs benutzt man sie zum sogenannten *Zündpulver* oder *Percussionspulver* bei den *Percussionsgewehren* oder den mit *Percussionsschlössern* versehenen Geschützen. Es ist bereits gesagt worden[2], dafs das Zündpulver aus chlorsaurem Kali mit Schwefel, Hexenmehl, Holzstaub und Salpeter gemengt besteht, und hier kann wohl nicht der Ort seyn, die verschiedenen, von den Technikern gewählten Mischungs- und Verfertigungsarten einzeln anzugeben, es wird vielmehr genügen, beispielsweise nur einige Zusammensetzungen derselben namhaft zu ma-

1 V. Crell's chem. Ann. 1792. St. XI.

2 S. Art. *Kalium*. Bd. V. S. 841.

chen. Die *Knallkügelchen*, deren man sich bei den Percussionsschlössern bedient, bestehn aus 100 Th. chlorsaurem Kali, 12 Th. Schwefel und 10 Th. Kohlenpulver oder aus 100 Th. des Salzes, 42 Th. Salpeter, 36 Th. Schwefel und 14 Theilen Hexenmehl. Man bedient sich aufserdem häufig der *Zündhütchen*, kleiner Hütchen von sehr dünnem Kupfer, in welche ein Tropfen Knallquecksilber mit etwas Benzoe oder einem sonstigen Bindemittel vereint gebracht ist[1]. Die jetzt allgemein bekannten und in unermefslicher Menge fabrikmäfsig verfertigten sogenannten *chemischen Zündhölzchen* sind von zweierlei Art, entweder solche, die in etwas Schwefelsäure getaucht oder leicht damit benetzt durch chemische Zersetzung sich entzünden, oder die etwa seit 1835 weit mehr gebräuchlichen, die durch Reiben in Brand gesetzt werden. Die gewöhnliche Beschaffenheit der erstern ist bereits[2] angegeben worden, sie haben die Unbequemlichkeit, dafs das stets erforderliche Gläschen mit Schwefelsäure leicht Sachen beschädigt, wenn man es nicht vorsichtig aufbewahrt; aufserdem aber zieht die Schwefelsäure, welche nur in kleiner Quantität vorhanden seyn darf, wobei man noch aufserdem in das Gläschen Kiessand oder besser Asbest bringt und diese mit der Schwefelsäure tränkt, begierig Wasser aus der Luft an und wird dadurch zur Erregung der Entzündung untauglich. Hierin liegt hauptsächlich der Grund, dafs diese Art Feuerzeuge sobald fast ganz aufser Gebrauch gekommen ist. Sehr brauchbar, aber zu kostspielig sind die Zündhölzchen, welche Sam. Jones[3] in Vorschlag gebracht hat. Sie bestehn aus kleinen Glaskügelchen, in denen eine geringe Quantität Schwefelsäure enthalten ist. Diese sind mit der Mengung der chemischen Zündhölzchen umgeben, dann mit einem Streifen Papier oder dem Ende eines Dochtes umwickelt, und die Entzündung erfolgt durch das Zerschlagen des Kügelchens. Bei den neuerdings am meisten gebräuchlichen Zündhölzchen ist Phosphor diejenige Substanz,

1 Vergl. P. W. Schmidt in Schweigger's Journ. Th. XLI. S. 66. E. G. Wright scheint sie zuerst angewandt zu haben. S. G. LXXVI. 73. Ausführliche Untersuchungen über die Bestandtheile der Zündpulver und die für sie geeigneten Schlösser von Karmarsch findet man in den Jahrbüchern des Wiener polytechnischen Instit. Th. XII. S. 107.

2 S. Art. *Kalium*. Bd. V. S. 4.

3 Repertory of Patent Inventions. 1829. Mart. p. 147.

welche das Entzünden bewirkt. Um die Entzündbarkeit desselben zu verstärken, befindet er sich im Zustande feiner Vertheilung, ist daneben mit Körpern verbunden, welchen die Entzündung leicht mitgetheilt wird, und mit andern harten und rauhen, welche die entzündliche Wirkung des Reibens vermehren. Diese letztern Bestandtheile werden von den Fabricanten verschieden gewählt. Der *detonirenden Mischungen* überhaupt giebt es eine aufserordentliche Menge, welche hier alle namhaft zu machen nicht zweckmäfsig seyn dürfte, und es mufs daher die Angabe nur einiger der interessantesten und am meisten in Anwendung kommenden Verbindungen genügen. Wenn man nach Döbereiner[1] zwei Theile salpetersaures Zinkoxyd und einen Theil essigsaures Kobaltoxydul mengt und das Gemenge entweder in einer kurzhalsigen Glaskugel oder in einem Platinlöffel dem Feuer einer Weingeistlampe aussetzt, so wird dasselbe schnell flüssig und erscheint zuerst rosenroth, dann purpurfarben, dann blau, und geht endlich unter plötzlicher flammender Verpuffung in den trocknen grünfarbigen Zustand über, wobei die ganze Masse gleich einem kleinen Vulcane aus dem Gefäfse geschleudert wird. Die Kenntnifs anderer Beispiele liefert das Studium der Chemie in Menge.

134) Eine eigenthümliche Art der Wärmeentwickelung bis zur eigentlichen Entzündung findet bei dem nach seinem Erfinder Döbereiner benannten *Platinsalmiak* statt, die hier um so mehr angereiht zu werden verdient, je sicherer jetzt wohl anzunehmen ist, dafs die Entzündung auf einer Verdichtung oder chemischen Bindung beruht, und nicht auf elektrischem Verhalten, wie einige Physiker anzunehmen geneigt waren. Ueber die Erfindung selbst, die im Jahre 1823 gemacht wurde, und wie man dieselbe sogleich zu einer eigenthümlichen Art von Feuerzeug anwandte, ist bereits berichtet[2], auch ist die Bereitung des sogenannten *Platinschwammes* oder *Platinsalmiaks*, lose zusammengeballeter feiner Partikelchen regulinischen Platins, angegeben worden[3], und es kann daher hier nur von

---

1 G. LXXIV. 274.

2 S. Art. *Lampe*. Bd. VI. S. 86.

3 S. Art. *Platin*. Bd. VII. S. 590. Nach Pleischl in Schweigger's Journ. Th. XXXIX. S. 351 kommt auch geglühetes Palladiumcyanit im Wasserstoffgasstrome zum Glühen.

der Ursache dieser Erscheinung die Rede seyn, um zu bestimmen, unter welche Classe von Wärmeerzeugungen diese specielle Art gehört und inwiefern sie sich mit der allgemeinen Wärmetheorie vereinigen läfst. Zuvor verdient hier bemerkt zu werden, dafs auch das sogenannte *Platinmohr* oder Liebig's *Platinschwarz*[1] und das *Iridmohr* ähnliche Erhitzungen zeigen[2], die zunächst unter die später (§. 138) zu erwähnenden Wärmeentbindungen gehören. Nach Pleischl[3] giebt Löschpapier in salzsaure Platinauflösung getaucht und verbrannt eine Asche, welche noch besser als Platinschwamm zünden soll. Nach De la Rive und Marcet[4] findet die Fähigkeit zu entzünden noch statt bei — 20° C., es wird aber längere Zeit erfordert, bis die Entzündung erfolgt, und sie hört unter — 20° C. ganz auf; *Palladium*, auf gleiche Weise bereitet, bewirkt die Entzündung des Knallgases fast gleich stark, *Gold* aber mufs eine Temperatur von 50° C. haben, wenn es diese Wirkung hervorbringen soll, die beim Platin nie aufhört. Die Ursache der Entzündung des Knallgases durch diese Substanzen setzten die genannten Gelehrten in die starke Verdichtung namentlich des Wasserstoffgases durch dieselben, in deren Folge Wärme ausgeschieden und die Verbindung mit Sauerstoffgas eingeleitet wird, die mit zunehmender Hitze wächst, bis Entzündung erfolgt, später aber meinte De la Rive[5], die Ursache liege in dem schnellen Wechseln der Oxydation und der Reduction der Oberfläche des Metalles, wie dieses auch bei der *Lampe ohne Flamme* der Fall sey. G. G. Schmidt[6] meint, es sey dadurch, dafs das Platin in der Reihe der negativ elektrischen Körper eine der ersten Stellen einnimmt, der Wasserstoff aber in der der positiv elektrischen, schon eine starke Wahlanziehung beider bedingt. Wenn aber diese elektrische Anziehung zugleich durch die physische Adhäsionskraft in Folge der lockern und porösen, viele Oberfläche und Spitzen darbietenden Form der Körper erhöht werde, so müsse die anfan-

1 Poggendorff's Ann. XVII. 106.

2 Döbereiner in Schweigger-Seidel n. Jahrb. Th. III. S. 363 u. 466.

3 Biblioth. univ. T. XXV. p. 122.

4 Mém. de la Soc. de Génève. T. II. P. II. p. 240.

5 L'Institut. 1838. N. 260.

6 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Giefs. 1826. S. 353.

gende Verdichtung der Gase und die dadurch frei werdende Wärme die chemische Wechselwirkung der Gase so sehr erhöhn, daſs sie sich zu Wasser vereinigen und ihre latente Wärme frei lassen. Daſs keine meſsbare Elektricität hierbei wahrnehmbar wird, darf, wie SCHMIDT meint, nicht befremden, da nach BECQUEREL bei allen chemischen Actionen nur äuſserst geringe Elektricität zum Vorschein kommt; allein abgesehn davon, daſs es doch nothwendig unwahrscheinlich seyn muſs, wenn die hierbei als Hauptursache wirkende Elektricität nicht wahrnehmbar seyn sollte, darf zugleich das elektrochemische Verhalten zwischen dem Sauerstoff und Wasserstoff nicht übersehn werden, insofern die positive Elektricität des Wasserstoffgases auf die negative des Sauerstoffgases um so weniger wirken könnte, je mehr sie durch die des Platins bereits gebunden wäre, wodurch dann die nothwendige Bedingung des Verbrennens wegfallen würde. Inzwischen hat LIEBIG[1] diese Hypothese direct widerlegt. Zuvörderst verdichtet nicht bloſs der Platinschwamm das Wasserstoffgas durch Absorption, sondern eben dieses geschieht auch durch die Kohle bei Ammoniakgas und salzsaurem Gas, welche beide einander hinsichtlich ihrer Elektricität ganz entgegengesetzt sind; das Verhalten der Kohle ist aber dem des Platinschwammes auch insofern höchst ähnlich, als nach den Versuchen THÉNARD's in der Kohle, welche Schwefelwasserstoffgas und Sauerstoffgas absorbirt hat, Wasser gebildet und Schwefel abgesetzt wird. Endlich kommt noch der Umstand hinzu, daſs nicht Platin allein, sondern auch andere Metalle, fein zertheiltes Glas und Porcellan die nämliche, wenn auch durch höhere Temperatur bedingte Wirkung hervorbringen. Dagegen zeigt LIEBIG überzeugend, daſs der Platinschwamm zwar, wie die ausgeglühte Holzkohle, die Eigenschaft besitze, die Gase zu verdichten, jedoch in einem ungleich höhern Grade. Nach DÖBEREINER[2] absorbiren 100 Gran Platinschwamm 20 Kubikzoll Wasserstoff-

---

1 Poggendorff's Ann. XVII. 112.

2 Nach einer spätern Beobachtung dieses Gelehrten nehmen fein vertheiltes Platin und Iridium beim Trocknen an der Luft das 200- bis 250fache ihres Volumens Sauerstoffgas auf, ohne sich chemisch damit zu verbinden, und verdichten es mit einer Kraft von 800 bis 1000 Atmosphären, woraus die Entzündung leicht erklärbar wird. S. Poggendorff's Ann. XXXI. 512.

gas. Nimmt man hiervon nur 15, indem die übrigen 5 auf Rechnung des Sauerstoffgases gebracht werden, welches vorher aus der Luft absorbirt war und mit dem Wasserstoffgas Wasser gebildet hatte, und wird hiernach das Volumen des Wasserstoffgases mit dem Volumen des Platinschwammes, das mittlere spec. Gewicht des letztern zu 16 angenommen, verglichen, so erhält man das ungeheure Volumen von 728 Kubikzoll Wasserstoffgas, die durch 1 Kubikzoll Platinschwamm verdichtet werden, woraus dann die bis zur Glühhitze steigende Erwärmung von selbst hervorgeht, wenn noch obendrein die geringe Wärmecapacität des Platins in Anschlag gebracht wird.

### b) Das Verbrennen oder das sogenannte Küchenfeuer.

Es liefsen sich hieran sofort andere, wegen ihrer grofsen Aehnlichkeit kaum zu trennende, Erscheinungen knüpfen, allein da sie gleich nahe einer andern Classe von Phänomenen zugehören, so wollen wir sie in diesen neuen Abschnitt herüberziehn. Ueberhaupt sind in der Natur keine scharfen Begrenzungen vorhanden und die Anordnung unter einzelne Abtheilungen dient daher blofs dazu, die Sache übersichtlicher zu machen und ihre Auffassung zu erleichtern. Zudem haben wir die Frage noch nicht erörtert, ob die Phänomene der Wärmeerzeugung durch Chemismus wirklich unter eine besondere Classe zu ordnen sind oder vielmehr der allgemeinen angehören, welche die Wärmeerzeugung durch Verdichtung einschliefst.

135) Der Begriff, den wir mit dem Ausdruck *Verbrennen* verbinden, ist oben angegeben worden, und die Richtigkeit dieser Bestimmung, nämlich einer energischen Verbindung von Körpern mit Ausscheidung von Licht und Wärme, unterliegt wohl keinem eigentlichen Zweifel. Stellen wir denselben in dieser Allgemeinheit auf, so gehören alle die angegebenen Processe, wobei Licht und Wärme ausgeschieden werden, unter eine gemeinschaftliche Classe, ja sofern die Lichtentwickelung nur einen höhern Grad von Wärmeerzeugung, einer bis zum Glühen gesteigerten, voraussetzt, hierdurch aber eine Grenze zu ziehn keineswegs nothwendig ist, und da man ohnehin selbst den

Procefs der thierischen Wärmeentwickelung mehrfach als ein langsames Verbrennen betrachten wollte, so würden alle bisher genannten Phänomene der Wärmeerzeugung durch Verbindung von zwei oder mehrern Körpern unter die allgemeine Classe der Verbrennungen zu zählen seyn, was in rein wissenschaftlicher Hinsicht wohl nicht verwerflich wäre. Dem Sprachgebrauche nach versteht man aber unter Verbrennungsprocessen in engerer Bedeutung nur diejenigen, wobei der eine oder beide vereinte Körper insofern zerstört werden, als sie ihre wesentlichen Eigenschaften verlieren und zur Erzeugung eines oder mehrerer anderer Körper von abweichender Beschaffenheit dienen. Nehmen wir den Ausdruck in noch engerer Bedeutung, so bezeichnet man durch Verbrennen *diejenigen Phänomene, bei denen irgend eine Basis durch Sauerstoff gesäuert wird, wenn zugleich der Procefs der Verbindung oder Säuerung mit Erzeugung von Wärme und meistens auch von Licht verbunden ist*[1]. Beschränken wir uns blofs auf die hierher

---

1 Dafs eine scharfe Begrenzung unstatthaft sey, ergiebt sich augenblicklich durch Nebeneinanderstellung einiger Thatsachen. Wenn man eine Uhrfeder oder einen Stahldraht unten zuspitzt, mit einem Stückchen entzündeten Schwammes versieht und in eine Flasche mit Sauerstoffgas senkt, so tritt ein rasches Verbrennen mit Funkensprühen ein, aber eben dieses erfolgt auch in einer Flasche mit erwärmtem Chlorgas, und man mufs daher auch dieses Phänomen als ein wirkliches Verbrennen betrachten, ungeachtet kein Sauerstoffgas vorhanden ist. Hierher gehören ferner die zahlreichen Versuche, welche H. Davy über die Verbindungen des Chlors mit verschiedenen Metallen angestellt hat, s. Philos. Trans. 1811, daraus in Schweigger's Journ. Th. III. S. 205, desgleichen die von L. A. v. Meerten und S. Strating über das Verbrennen der Metalle und sonstiger Substanzen in diesem Gase. S. Schweigger's Journ. Th. III. S. 437. Auch auf Phosphor wirkt das Chlor auf gleiche Weise, und vertritt also das Sauerstoffgas. Apparate zu diesen Versuchen findet man beschrieben in: Laboratorium Heft XXV. Taf. 100. Ebenso mufs die durch Berzelius in G. XXXVII. 279 angegebene Verbindung des Schwefels mit Kupfer in den von ihm mitgetheilten Versuchen, welche beiläufig mit den im J. 1793 von den holländischen Physikern angestellten identisch sind, s. v. Crell's chem. Ann. 1793. P. II. S. 383, als ein wirkliches Verbrennen betrachtet werden. Beim Glühen von Kupferblechen mit Schwefel in einer Retorte ging die Verbindung beider Körper noch vor Eintritt der Glühhitze so vor sich, als wenn das Metall in Sauerstoffgas verbrannt worden wäre. Auf ähnliche Weise sah Hare Eisendraht in Schwefeldampf mis lebhafter Flamme sich in Schwefeleisen verwandeln. Er füllte Schwe-

gehörigen Phänomene, so ist deren Zahl so ungemein grofs, sie sind so vielseitig bedingt und so vielfach modificirt, dafs sie allerdings die ihnen hier bestimmte nähere Betrachtung verdienen. Wir wollen daher von diesem Standpuncte aus die Bedingungen des Verbrennens in diesem engern Sinne näher kennen lernen.

136) *a*) Die erste wesentliche Bedingung des Verbrennens ist die gröfsere oder geringere *Verwandtschaft zum Sauerstoff*, die zwar zugleich sehr von der Temperatur abhängt, doch wollen wir den Einflufs der letztern für sich betrachten. Die Abhängigkeit des Verbrennens von der Verwandtschaft der Körper zum Sauerstoff zeigt sich nach H. Davy[1] durch folgenden Versuch. Wenn man in eine Flasche mit langem engen Halse eine brennende Wachskerze senkt, so wird sie bald ausgehn und keine andere wegen Mangels an Sauerstoffgas darin weiter brennen. Senkt man demnächst eine enge Röhre mit einem Strome brennenden Wasserstoffgases hinein, so wird diese noch eine Zeit lang brennen und dann aus gleicher Ursache erlöschen. Dennoch brennt Schwefel auch nachher darin etwas, und wenn dieser erloschen ist, noch Phosphor mit wenigem Lichte. Welche Körper die gröfste Verwandtschaft zum Sauerstoff haben und in welcher Reihenfolge diese abnimmt, dürfte schwer zu bestimmen seyn, sofern hierbei die Wärme von grofsem Einflufs ist, indem namentlich das Eisen in starker Glühhitze dem Kali seinen Sauerstoff entzieht, obgleich es in niedrigerer Temperatur das Wasser nicht zersetzt, was durch Kalium geschieht; inzwischen kommt es hier auf eine scharfe Grenzscheidung nicht an, sofern sich in mittlerer Temperatur die gröfsere Verwandtschaft zu Sauerstoff und die hierdurch bedingte leichtere Verbrennung auffallend herausstellt. Zu den am leichtesten verbrennenden Körpern gehören die Metalloide, das *Kalium* und *Natrium*, die schwer oder gar nicht reducirbaren Metalle, als Magnium, die zum Theil noch nicht für sich dar-

---

fel in einen Flintenlauf, brachte das untere Ende desselben zum Glühen, verschlofs das obere Ende mit einem Korke oder blies hinein; es wurde dadurch ein Strom Schwefeldampf aus dem Zündloche getrieben und ein Bündel hineingehaltenen Eisendrahtes verbrannte augenblicklich. S. Philos. Magaz. 1824. Apr. p. 245.

1 Philos. Trans. 1817. p. 63.

gestellten Grundlagen der Erden, das Boron und andere. Setzt man ein Stück Kalium dem Zutritte der atmosphärischen Luft aus, so nimmt es sofort Sauerstoffgas auf, allein nicht schnell genug, um bis zum Brennen erhitzt zu werden, wirft man es aber auf Wasser, so zersetzt es dieses so lebhaft, daſs es mit einer röthlich violetten Farbe unter heftiger Bewegung schnell verbrennt.

137) Zu den starke Verwandtschaft zum Sauerstoff zeigenden Körpern gehört vorzüglich auch der *Phosphor*, welcher an der Luft liegend selbst bei einer Temperatur von 7° C. Sauerstoffgas aufnimmt, damit phosphorige Säure bildet und, indem diese als weiſser Dampf aufsteigt, mit schwachem, nur im Dunkeln wahrnehmbaren Lichte so lange verzehrt wird, bis die ihn umgebende Säure den Zutritt der Luft hindert. Die Wärmeerzeugung ist hierbei schwach (§. 166), weil die entstehende Wärme zur Erzeugung der Dampfform der gebildeten Säure verwandt wird. Man kann daher ohne Gefahr bei nicht zu hoher Temperatur, die eine Entzündung der ganzen Phosphorstange verursachen und eine gefährliche Verletzung der Hände nach sich ziehn könnte, Hände und Gesicht mit Phosphor reiben, so daſs weiſser Dampf aufsteigt und im Dunkeln ein helles Leuchten wahrnehmbar wird. Uebrigens entzündet sich der Phosphor leicht durch Reiben an rauhen Flächen, wollenen Zeuchen, gesandeltem Papiere u. s. w. und theilt dann die Entzündung leicht verbrennlichen Körpern mit, weswegen man ihn zu *Zündhölzchen* verwendet. Die Mischungen, welche an das eine Ende der tannenen Stäbchen angebracht sind, um das Entzünden durch Reiben am gewöhnlichen Fuſsboden, an den Schuhsohlen, an der Wand, selbst wenn sie tapezirt ist, meistens aber an einem durch Sandelung rauh gemachten Theile der zum Einschlieſsen der Hölzchen dienenden Feuerzeuge hervorzubringen, werden von den Fabricanten verschieden gewählt und die meisten machen ein Geheimniſs daraus, im Wesentlichen aber kommt es darauf an, daſs der Phosphor fein vertheilt sey, weil er die kostbarste Substanz bei diesen höchst wohlfeilen Fabricaten ist und dann zugleich besser zündet. Meistens taucht man daher die Enden der Hölzchen in geschmolzenen Schwefel und nachher in die zum Anhalten vorher leicht erwärmte zündende Mischung, welche im Wesentlichen aus Phosphor und Benzoe besteht. Der entzündete Phos-

phor setzt den Schwefel in Brand und dieser das Holz, verbreitet aber einen unangenehmen Geruch, und man läſst ihn daher bei den bessern weg, die deswegen geruchlose oder wohlriechende heiſsen. Eine geeignete Mischung, die ich angegeben finde[1], besteht aus 1 Th. trocknes Korkfeilicht, 1 Th. gelbes Wachs, 8 Th. gewöhnliches Petroleum und 4 Th. Phosphor. Ist der geschmolzene Phosphor wieder erkaltet und nimmt man mit einem Schwefelhölzchen etwas von dieser Masse heraus, so erfolgt Entzündung des fein vertheilten Phosphors. Diese neuern, ungleich bequemern Feuerzeuge haben die ältern, obendrein etwas gefährlichen, verdrängt, namentlich das sogenannte *tragbare Feuer* und die *Turiner Kerzen*. Ersteres ist ein Fläschchen mit Eisenfeilicht, Sand und Knochenasche, oben mit einer dünnen Schicht fest angedrückten Phosphors, auf welcher man den in ein Pulver von Schwefel und Bärlappsamen getauchten Docht einer Kerze reibt, die letzteren, von Paibla in Turin erfunden[2], sind dünne, polirte Wachskerzen, die in einer oben und unten zugeschmolzenen Glasröhre stecken, in welche man zuvor etwas Phosphor und Schwefel gebracht hat. Beim Gebrauche zerbricht man die Röhre und zieht die Kerze heraus, die sich durch das Losreiſsen ihres mit der brennbaren Mischung vereinten Dochtes entzündet, auch erfolgt dieses mehrmals nach einander, wenn man die Kerze schnell wieder in die Röhre steckt, jedoch nur so lange, bis der Phosphor verzehrt ist. Nach Driessen[3] entzündet sich der Phosphor, wenn er an der Oberfläche etwas oxydirt ist, beim Zutritt atmosphärischer Luft selbst in einer Kälte unter dem Gefrierpuncte. Hiernach werden Feuerzeuge bereitet, indem man etwas Phosphor in einem Gläschen sich entzünden läſst, das Gläschen aber sofort durch einen genau schlieſsenden, mit etwas Unschlitt überstrichenen Glasstöpsel verschlieſst, in einer eisernen Büchse verwahrt und beim Gebrauche nur kurze Zeit geöffnet läſst. Nimmt man mit einem Schwefelhölzchen etwas Phosphor heraus, so entzündet sich dieser sogleich beim Zutritt der Luft; doch steht die Gefahr

---

1 Schweigger's Journ. 1830. St. 111. S. 129.

2 V. Crell's neueste Entdeckungen. Th. IX. S. 88. Ingenhouss verm. Schr. von Molitor. Th. I. S. 228.

3 G. LIX. 255.

der Aufbewahrung einer so leicht feuerfangenden Substanz und der üble Geruch bei vorhandenen bessern Mitteln dem praktischen Gebrauche entgegen. Phosphor verbindet sich in gewöhnlicher Temperatur mit Iod unter beträchtlicher Wärmeentbindung, die häufig eine Entzündung zur Folge hat[1], und CÄSAR GOZZANIGA[2] findet es auffallend, dafs diese auch bei — 12°,5 C. erfolgen kann, welche Meinung jedoch Andere[3] nicht theilen.

Eine merkwürdige Erfahrung machte VAN MARUM[4] bereits im Jahre 1794, dafs nämlich Phosphor lose in Baumwolle gewickelt und mit Harzpulver bestreuet unter der Campane einer Luftpumpe beim Exantliren sich entzündet, und zwar wenn das Vacuum bis auf 1 Zoll oder einen halben Zoll hergestellt ist, indem zuerst ein etwas stärkeres Leuchten und dann ein Verbrennen eintritt, welches sich nach dem Wiedereinlassen von etwas Luft erneuert, wenn es durch Mangel an vorhandenem Sauerstoffgas aufgehört hat. Später machte VAN BEMMELEN[5] die Resultate seiner Versuche bekannt, welche, wie die durch KONING[6] erhaltenen, mit denen des ersten Entdeckers genau übereinstimmen, denn Beide erhielten die Entzündung nur dann, wenn die kleinen Phosphorstangen in Baumwolle leicht eingewickelt und mit Harzstaub oder Schwefelpulver bestreuet waren, oder wenn die Bestreuung auch ohne Baumwolle statt fand. Neuerdings wiederholte BACHE[7] diese Versuche, und erhielt die Entzündung auch ohne Baumwolle und Bestreuung mit Harz- oder Schwefelpulver, leichter erfolgte sie jedoch bei der Anwendung dieser und anderer theils metallischer, theils nicht metallischer Körper.

---

1 TRAILL in Ann. of Phil. T. VIII. p. 153.

2 Annali di Scienze del Regno Lomb. Ven. 1833.

3 S. Biblioth. univ. 1833. Oct. p. 130.

4 KASTELEYN chemische Oefeningen. T. III. p. 249. V. MARUM Description de quelques Appareils chimiques du Musée de TEYLER. N. X. p. 40, daraus in Ann. de Chim. T. XXI. p. 158 u. in Gren N. Journ. Th. III. S. 96. Gehlen's Journ. Th. I. S. 144. Th. II. S. 252.

5 G. LIX. 268.

6 Nieuive Verhandelingen van Zeeuwsch Genootschap. T. IV. St. 2.

7 Silliman Amer. Journ. of Sc. N. XXXVIII. p. 372. Edinb. Journ. of Science. New Ser. N. VIII. p. 370.

Man hat mehrseitig Schwierigkeiten gefunden, die einer genügenden Erklärung dieses Phänomens entgegenstehn, und die sich auf den ersten Anblick darbieten, wenn man von einem anderweitig richtigen Grundsatze ausgeht, dafs die vorhandene gröfsere Menge von Sauerstoffgas das Brennen befördert, mithin die verdünnte Luft einen geringern Antheil desselben darbietet und einen entgegengesetzten Effect hervorbringen mufs; allein schon van Marum betrachtete die Sache aus dem richtigen Gesichtspuncte, dafs zwar diese Hindernisse des Verbrennens allerdings vorhanden sind, aber durch andere sich neu erzeugende Beförderungsmittel bedeutend überwogen werden. Der Phosphor verdampft schon bei mittlerer Temperatur[1], diese Verdampfung erfolgt aber im luftverdünnten Raume nicht blofs leichter, sondern der Dampf ist auch wegen schneller Ausbreitung dünner, die darin enthaltenen Partikelchen sind kleiner, bieten dem geringen Antheil des vorhandenen Sauerstoffgases verhältnifsmäfsig mehr Oberfläche dar und entzünden sich daher leichter. Die Richtigkeit dieser Ansicht geht überzeugend aus verschiedenen, von van Marum nicht unbeachtet gelassenen Nebenbedingungen der Erscheinung hervor. Ein bedeutendes Beförderungsmittel des Entzündens geben dann aber die lockern Substanzen, als Baumwolle, deren Fäden nach Davy dem feinen Platindraht ähnlich wirken, so wie auch Schwefel, Harz und die sonstigen von Bache angewandten Substanzen in Pulverform. Der Phosphordampf legt sich an dieselben an, und nicht zu gedenken, dafs der Phosphor durch feine Vertheilung zwischen andere Körper, als Schwefel, Iod u. s. w., überhaupt entzündlicher wird, legt sich der Phosphordampf an die kleinen, nur eine geringe Wärmecapacität besitzenden Partikelchen in sehr dünnen Lagen an; diese nehmen den in geringer Menge vorhandenen Sauerstoff begierig auf und bewirken die Entzündung um so leichter, je weniger die erzeugte Wärme durch dickere Luft entzogen wird. Zudem geht man stets von der Voraussetzung aus, dafs erst nach statt gefundener Verdünnung die Verbindung mit dem in geringer Menge vorhandenen Sauerstoffgas beginne, allein bei der innigen Verwandtschaft beider Körper zu einander hat der Phosphor schon vorher eine gewisse Menge Sauerstoff auf-

1 L. Gmelin's Handbuch der Chemie. Th. I. S. 271.

genommen[1], beide Körper verbinden sich aber inniger im Augenblicke der rascheren Verdampfung, und hierdurch wird die Ausscheidung der Wärme, die Verbrennung bewirkt. Es hängt dieses mit einer andern, vermuthlich auf ähnlichen Gründen beruhenden Thatsache zusammen, daſs der Phosphor in verdünntem Sauerstoffgas, sey dieses durch Beimischung anderer Gasarten oder verminderten Druck, leichter und stärker leuchtet, als in dichterem[2].

138) *Wasserstoffgas* und viel Wasserstoff enthaltende Körper haben die gröſste Verwandtschaft zum Sauerstoff, und eine Verbindung von 2 Volumen Wasserstoffgas mit 1 Volumen Sauerstoffgas könnte füglich zu den Selbstzündern durch mechanischen Druck gerechnet werden, denn das sogenannte Knallgas entzündet sich im Tachopyrion mit heftiger Explosion, so wie dieses auch durch den elektrischen Funken geschieht. Hierauf beruht das lebhafte Verbrennen derjenigen Substanzen, welche viel Wasserstoff enthalten; am auffallendsten zeigt sich aber die Vereinigung des Wasserstoffs mit Sauerstoff in allen den Phänomenen, welche sich dem Glühn der *Lampen ohne Flamme* anreihen lassen. Die Construction dieser *Glühlämpchen* (aphlogistic Lamp) ist am gehörigen Orte beschrieben worden[3], hier müssen aber die Erscheinungen, die sie darbieten, mit den allgemeinen Gesetzen der Wärme in Zusammenhang gebracht werden. Der Proceſs des Verbrennens ist zwar nichts anderes, als eine unter Ausscheidung von Licht und Wärme vorgehende Verbindung der verschiedenen brennbaren Körper mit Sauerstoff, allein diese Verbindung geht auch in vielen Fällen so langsam und mit so geringer Energie vor sich, daſs keine meſsbare Wärme dabei frei wird, wie dieses sich namentlich bei der Oxydirung der Metalle zeigt. Wärme ist zugleich ein vorzügliches Beförderungsmittel dieser Verbindungen, wie H. Davy[4] gezeigt hat, welcher Knallgas bis etwa zur Siedehitze des Quecksilbers erhitzte und fand, daſs es

---

1 Wahrscheinlich befindet sich auch ein geringer Theil verdichteter Luft in den lockeren Substanzen angehäuft, die den Phosphor umhüllen und ihm zur Unterlage dienen.

2 Schweigger's Journ. Th. XL. S. 16.

3 S. Art. *Lampe*. Bd. VI. S. 72.

4 Philos. Trans. 1817. p. 57.

sich dann zu Wasser verdichtete, so wie Kohle und Sauerstoff in einer etwas höhern Temperatur zur Kohlensäure. Hierbei ist jedoch stets die Geneigtheit zum eigentlichern Verbrennen unverkennbar vorhanden, und wenn man daher einen Körper von geringer Wärmecapacität, wozu sich Platin vorzugsweise eignet, dem Einflusse dieser Verbindungen aussetzt, indem man ihn zugleich fähig macht, dieselben seinerseits zu befördern, so wird die erzeugte Wärme hierdurch sichtbar zum Vorschein kommen, wie dieses namentlich bei den Glühlämpchen der Fall ist. H. Davy[1] entdeckte dieses bei seinen Versuchen, die Explosionen des entzündlichen Gases der Kohlenminen zu verhüten, indem er fand, dafs heifsgewordene Gewebe von feinem Platindraht in solchen Gasarten zu glühen fortfuhren und wieder anfingen, wenn sie auch etwas abgekühlt waren. Andere explodirende Gasgemenge zeigten einen gleichen Erfolg, und ebenso die Dämpfe von Aether, Alkohol, Terpentinöl und Naphtha, unter denen die beiden ersten sich zu Versuchen am besten eignen. Giefst man daher einige Tropfen Aether in ein kaltes oder Alkohol in ein warmes Glas, und hält einige Windungen Platindraht von $\frac{1}{60}$ oder $\frac{1}{70}$ Zoll Durchmesser nach vorgängiger Erhitzung darüber, so werden diese zu glühen anfangen und fortfahren, bis die Flüssigkeit verdunstet ist, mit einem im Finstern sichtbaren zarten Lichte über dem Drahte und unter Erzeugung einer eigenen Säure. Der Versuch gelang ihm blofs mit Platin- und Palladiumdraht, welche beide eine geringe Wärmecapacität haben, doch kann man statt des Drahtes auch dünne Bleche nehmen.

Die ursprüngliche Erfindung Davy's hat im Verlaufe der Zeit eine Menge Anwendungen und Abänderungen gefunden, wozu auch Döbereiner's[2] *Platinschwamm* und dessen *Feuerzeug* gehören, wovon wir aber hier nur die meisten und wichtigsten, mitunter blofs historisch, erwähnen wollen, da die Hauptsache, nämlich die Beziehung zur Wärmelehre, bereits (§. 134) aufgestellt worden ist. Erman[3] vergröfserte den kleinen Glühapparat bedeutend, indem er auf einen frisch abgeschnit-

1 Philos. Trans. 1817. p. 78. Journ. de Phys. T. LXXXVI. p. 308.

2 G. LXXIV. 269.

3 Berliner Denkschriften 1818. S. 362.

tenen, in Weingeist tauchenden Docht einen Ring von 4 Lin. Durchmesser und 1 Lin. Höhe aus Gewinden des feinsten Drahtes stellte, auf diesen einen Rost aus dünnem Platinblech legte und auf diesen endlich 4 bis 5 concentrische Cylinder aus Platindraht, von gröfserer oder geringerer Dicke, deren Zwischenräume mit einzelnen Drahtenden ausgefüllt waren. Wurde das Ganze durch eine Stichflamme einer Weingeistlampe zum Glühen gebracht, so gerieth der Weingeist ins Sieden, der stark glühende Draht zündete Schwamm in 2 Lin. Entfernung, verkohlte Papier, brachte Wasser zum Sieden und setzte an einem übergehaltenen Bleche eine Menge saurer Flüssigkeit ab. Erhitzte Windungen von feinem Platindraht oder feine Platinbleche äufsern ihre Wirkung nicht blofs auf Knallgas und die eben genannten Dämpfe, sondern auch auf andere viel Wasserstoff enthaltende Mischungen und leicht verdampfbare Körper. In Beziehung auf verdampfenden Kampher entdeckte dieses Davy[1] bereits 1818, Strating[2] aber giebt an, man dürfe nur ein Stück Platinschwamm auf Kampher legen, letztern entzünden und beim Glühen des Schwammes ausblasen, so würde dieser fortglühn und der Kampher durchbohrt werden. Merkwürdig ist, dafs der Platinschwamm, welcher sich so energisch gegen Knallgas zeigt, auf andere wasserstoffgashaltige Gasarten mit geringerer Kraft wirkt, als erhitzte dünne Bleche, wie Döbereiner[3] bemerkt hat, Henry[4] aber untersuchte ausführlich die Einwirkung des Platinschwammes auf die verschiedenen gasförmigen Mischungen, wozu noch als bekannt hinzugefügt werden kann, dafs kleine Kügelchen aus Thon und feinem metallischen Platin als *eudiometrisches Mittel* angewandt werden.

139) Die Versuche der Gelehrten erstreckten sich nicht blofs auf die verschiedenen Gasarten und Dämpfe, die sich durch metallisches Platin nach Davy oder durch Platinschwamm nach Döbereiner mit Sauerstoffgas vereinigen lassen, sondern sie suchten auch auszumitteln, welche andere Körper, wenn

1 G. LXV. 84.
2 Journ. de Pharmacie 1825. Avril. p. 195.
3 Ann. de Chim. et Phys. T. XXIV. et XXVI.
4 Philos. Transactions. 1824. p. 266. Vergl. Annals of Philos. T. X. p. 416.

auch mit einigen Modificationen, die nämliche Wirkung hervorbringen. Schübler[1] fand, dafs Alkohol von 0,85 spec. Gewicht 32° oder 38° C. Temperatur haben müsse, wenn sein Dampf dünnes Platinblech glühend erhalten sollte, und dafs andere Metalle sich hierzu nicht eigneten, Andern[2] gelang der Versuch mit Alkohol, Schwefeläther und Naphtha von Amiano, nur durfte der Aether nicht höchst rectificirt seyn, und Schwefelkohlenstoff entzündete sich selbst durch den glühenden Platindraht. V. Yelin[3] liefs ein Löckchen des feinsten Platindrahtes vermittelst eines Korkes auf Alkohol schwimmen, Karmarsch[4] stellte dasselbe sehr zweckmäfsig auf einen Docht, welcher über den Rand eines kleinen Medicinglases hervorragte, und erhielt befriedigende Resultate mit Weingeist, Aether, Terpentinöl, rectificirtem Petroleum, Bergamottöl und Kampher. Schon früher wollte Juch[5] gefunden haben, dafs aufser Platin kein Metall die Erscheinung zeige, Karmarsch[6] aber erhielt dieselbe mit Silberdraht, jedoch nur schwer mit Messing-, Kupfer-, Eisen- und Stahldraht; Golddraht aber schmolz augenblicklich. Döbereiner selbst fand[7], dafs auch andere fein vertheilte Metalle im Dampfe des absoluten Alkohols zu glühen fortfahren, als gepulverter Braunstein, Nickelstaub oder Nickeloxyd, Kobaltstaub oder Kobaltoxyd, Uranoxyd, Zinnoxyd und andere; ja er bemerkte[8], dafs das etwas verkohlte Ende des Dochtes einer Weingeistlampe zu glühen fortfuhr, nachdem die Lampe aus Mangel an Weingeist erloschen war; als er aber vorsichtig neuen absoluten Alkohol in die Lampe gebracht hatte, dauerte dieses Glühen 24 Stunden fort.

Mit gebührender Aufmerksamkeit wurden von den verschiedensten Gelehrten die interessanten Eigenschaften des durch Döbereiner entdeckten Platinschwammes beachtet. Unter An-

---

1 Schweigger's Journ. Th. XX. S. 199.
2 Bibliothèque univ. 1817. Févr.
3 Hermbstädt's Museum. Th. XV. Heft 2.
4 G. LXXV. 83.
5 Dingler's polyt. Journ. Th. I. Heft 1.
6 G. LXXV. 83.
7 Schweigger's Journ. Th. XXXIV. S. 91.
8 G. LXXIV. 274.

dern wiederholten Dulong und Thénard[1] seine Versuche schon 1823 unmittelbar nach ihrer Bekanntwerdung, und fanden, dafs auch dickere Platindrähte oder Stückchen dieses Metalles bei höherer Temperatur zwar keine Explosion des Knallgases, wohl aber eine Vereinigung desselben zu Wasser bewirken, und dafs Palladium als schwammige Masse dem Platin in seiner Wirkung ziemlich gleich ist, Rhodium, Iridium, Osmium, Kobalt, Nickel, Gold und Silber aber nur durch höhere Temperatur ähnliche Erfolge herbeiführen. Selbst nichtmetallische Körper, als Kohle, Bimsstein, Glas, Porcellan und Bergkrystall, zeigen sich in erhöheter, den Siedepunct des Quecksilbers jedoch nicht erreichender Temperatur in geringerem Grade wirksam. Das Palladium wurde in Beziehung auf diese Eigenschaft näher untersucht durch Pleischl[2], Garden[3] nahm die Entzündung des Knallgases durch Iridium, Fischer[4] die durch Rhodiumpulver wahr, und dafs auch andere Gasgemenge, als gasförmiges Kohlenoxyd und Sauerstoffgas, ölbildendes Gas und Sauerstoffgas, durch Platinschwamm disponirt werden sich zu verbinden, Salpetergas und Wasserstoffgas sich aber in Wasser und Ammoniak verwandeln, auch oxydirtes Stickgas und Wasserstoffgas einer Einwirkung desselben unterworfen sind, entdeckten Dulong und Thénard schon bei ihren ersten Versuchen. So wurden also die interessanten Entdeckungen Davy's und Döbereiner's überall, auch Italien nicht ausgenommen[5], mit der ihrer Wichtigkeit gebührenden Aufmerksamkeit aufgenommen, rücksichtlich ihrer Erklärung aber schwankte man zwischen der elektrischen und der mechanischen Hypothese. Erman[6] war geneigt, sich für die erstere zu erklären, ebenso Schweigger[7] und im Ganzen wohl Pfaff[8], G. G. Schmidt und Andere; allein die überwiegen-

---

1 Ann. Chim. et Phys. T. XXIII. p. 442. T. XXIV. p. 380. Vergl. Schweigger's Journ. Th. XL. S. 229.

2 G. LXXVI. 98.

3 Annals of Philos. 1823. Dec. p. 466. Schweigger's Journ. Th. XL. S. 115.

4 Büllet. der naturf. Section der schles. Ges. für vaterländ. Cultur. 1824. N. 1.

5 Brugnatelli Annali cet. 1826. p. 46.

6 Berliner Denkschriften 1818. S. 270 u. 271.

7 Dessen Jahrbuch Th. XXXIX. S. 2.

8 Ebendaselbst Th. XL. S. 1 ff.

den Gründe, welche für die letztere entscheiden, sind oben bereits nach Liebig angegeben worden. Ohne bei der anfänglichen Entdeckung stehn zu bleiben, hat Döbereiner[1] später die auf diese Weise statt findende unerwartet grofse Wärmeentbindung, welche sich bei dem fast noch wirksameren Iridmohr am auffallendsten dadurch zeigt, dafs dasselbe in feinster Pulverform auf mit Alkohol benetztes Papier gestreuet fast augenblicklich mit Zischen erglüht, so wie nicht minder die Bereitungsart der hierzu am meisten geeigneten Formen der entzündenden Metalle und die Zusammensetzung der erzeugten Producte mit gewohnter Gründlichkeit untersucht und auf die technische Bereitung des Essigs angewandt.

140) Zum Schlusse dieser Untersuchungen mögen hier noch einige nahe liegende Bemerkungen Platz finden. Wasserstoffgas und viel Wasserstoff enthaltende Körper, namentlich in Dampfform, zeigen ein vorzügliches Bestreben, sich mit Sauerstoff zu verbinden, wobei dann wegen grofser chemischer Energie Wärme in geringerem oder (meistens) in höherem Grade frei wird. Wenn man daher nach Döbereiner[2] Aether in eine Schale tröpfelt, die in siedendem Wasser steht oder durch siedendheifse Wasserdämpfe warm erhalten wird, so gewahrt man im Dunkeln eine sehr blasse, wenig leuchtende und nicht zündende Flamme. Die Tropfen rotiren, wie in Leidenfrost's Versuche, und der Geruch zeigt, dafs durch die Flamme *Sauerstoffäther* und *Aetherlampensäure* gebildet wird. Diesem ähnlich ist eine Beobachtung von Williams[3], dafs bei gewöhnlichen Kerzen , wenn man dem langen Dochte derselben etwas Fett zuführt, wodurch die Flamme wächst ohne vorhandene Verkohlung, und sie dann ausbläst, ein Phosphoresciren statt findet und eine Säure sich durch den Geruch kenntlich macht. Martens[4] giebt folgende Vorrichtung an, durch die ein Platinlöckchen lange glühend erhalten wird. Man nimmt eine Phiole von 2 bis 4 Pinten Inhalt mit weiter Oeffnung, erwärmt ihren Boden zwischen 30° bis 50° C., giefst

---

1 Schweigger-Seidel's n. Jahrbuch Th. III. S. 363. Vergl. Poggendorff's Ann. XXIV. 603.

2 Journal für praktische Chemie. N. I. S. 75.

3 Annals of Philos. T. VI. p. 44.

4 Bulletin de l'Acad. R. de Bruxelles. 1836. N. XI. p. 420.

eine dünne Schicht Alkohol hinein, und senkt bis etwa 1 Zoll vom Boden entfernt ein Platindrahtlöckchen aus Draht von etwa $\frac{1}{80}$ Zoll Durchmesser, an einem dickeren Drahte befestigt, dessen anderes Ende in einem Stückchen Karte steckt, so in das Innere derselben hinab, dafs das Kartenstück die Mündung bedeckt. Ist das Löckchen vorher in einer Weingeistflamme zum Glühn erhitzt, so fährt es fort zu glühn, meistens zunehmend, auch entsteht, wenn der Alkohol zu warm gemacht war, zuweilen eine nicht eben gefährliche Explosion. Das Glühn dauert einige Stunden fort, wenn der Boden der Flasche 25° bis 35° warm erhalten und zuweilen Luft hineingeblasen wird. An den innern Wandungen sammelt sich eine Flüssigkeit, vorzüglich wenn die Flasche oben durch umgelegte, mit Wasser genäfste, Leinwand kalt erhalten wird, die nach Martens keine Lampensäure enthält[1]. Will man dieses Product nicht sammeln, sondern ist es blofs um ein lange anhaltendes Glühn zu thun, so wählt man eine Phiole, die unten mit einem Tubulus versehn ist, damit stets atmosphärische Luft eindringen und neues Sauerstoffgas zuführen kann. George Merryweather[2] endlich hat Döbereiner's Platinschwamm zur Construction einer *Lampe ohne Flamme*[3] oder einer *aphlogistischen Lampe* benutzt, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs diese unter allen angegebenen am zweckmäfsigsten sey. Die blofse Zeichnung derselben Fig.
giebt einen so deutlichen Begriff, dafs es kaum einer Beschreibung 42.
bedarf. Eine gewöhnliche zinnene Lampe mit einem obern, des Luftzuges wegen durchbohrten Ringe wird durch die Röhre E mit Weingeist gefüllt. In der Mitte erhebt sich eine kleine hohle Säule, worin sich der Docht D befindet, den man am obern Ende aus einander biegt und um den Rand legt. In seine Mitte wird der feine Platindraht gesteckt, welcher am obern Ende die Kugel von Platinschwamm C trägt, die nach dem Entzünden und Wiederauslöschen des Weingeists zu glühen fortfährt und gegen äufsern Luftzug durch den übergestürzten Glaskegel A B gesichert ist.

---

1 Sauerstoffäther. S. Döbereiner in Poggendorff's Ann. XXIV. 603.

2 Edinburgh N. Philos. Journ. N. XX. p. 359.

3 S. Art. *Lampe*. Bd. VI. S. 72.

141) Unter die dem Sauerstoff sehr verwandten und daher leicht verbrennlichen Körper gehört ferner der *Schwefel*, welcher eben daher in kleinen Massen häufig zur Entzündung kleiner Hölzchen dient; weil er aber das Sauerstoffgas in grofser Menge sehr begierig aufnimmt und die sich in Dampfgestalt verbreitende schweflige Säure, die beim Verbrennen desselben den erstickenden Geruch erzeugt, das vorhandene Sauerstoffgas mit grofser Energie an sich reifst, um in Schwefelsäure verwandelt zu werden, so wird dadurch der Procefs des Verbrennens wieder gehindert und Schwefel, in gröfseren Massen entzündet, erlischt daher von selbst. Wird er in kleinen Quantitäten im Sauerstoffgas entzündet, so gewahrt man sein starkes Verbrennen mit grellem weifsen, ins Blaue übergehenden Lichte. Die *Kohle* gehört unter die am stärksten verbrennlichen Substanzen, weil sie den Sauerstoff mit grofser Begierde aufnimmt. Bei ihr kommt aber die Temperatur sehr in Betrachtung und zugleich auch der Aggregatzustand, worin sich der Kohlenstoff befindet. Ist letzterer ein lockerer, wie beim Kohlenpulver und Kienrufs, so verbreitet sich das Brennen begierig durch die ganze Masse; ist er aber ein fester, wie bei den härtern Kohlen, dem Anthracit und noch mehr beim Diamant, so hat das Verbrennen grofse Schwierigkeiten, und die Kohlen erlöschen von selbst, ungeachtet viel Kohlenstoff im lockeren Zustande enthaltende Körper, als Dünger, feuchtes Stroh u. s. w., zu den oben (§. 127) angegebenen Selbstzündern gehören. *Diamant* dagegen und *Graphit*, obgleich fast reiner Kohlenstoff, sind im höchsten Grade unverbrennlich und können nur im Focus grofser Brenngläser oder im Knallgasgebläse verbrannt werden. Unter den *Metallen* haben einige eine so grofse Verwandtschaft zum Sauerstoff, dafs sie sich kaum oder gar nicht davon trennen lassen, andere verbrennen leichter, z. B. Wismuth, Antimon, *Eisen* u. s. w. Letzteres Metall hat eine durch Hitze sehr zu steigernde Verwandtschaft zum Sauerstoff, und verbrennt daher, wenn es weifsglühend gemacht ist, in einem starken Luftstrome von selbst. Beyerley[1] in London entdeckte dieses und fand es auffallend, dafs ein kalter Luftstrom eine solche Wirkung haben könne,

1 Journal de Chimie médicale 1834. Avril. p. 212. L'Institut N. XLII. p. 71. Poggendorff's Ann. XXXI. 496.

meldete die Thatsache an D'Arcet, welcher den Versuch mit Erfolg wiederholte, ja das Verbrennen eines weiſsglühenden Eisenstabes mit Funkensprühen dauert fort, wenn man ihn schnell in der Luft herumschwingt. Beide Methoden, entweder einen starken kalten Luftstrom gegen das Eisen zu blasen, oder dasselbe schnell in der Luft herumzuschwingen, sind seitdem mit günstigem Erfolge mehrseitig durch Richard Phillips und Robert Addams wiederholt worden[1], jedoch muſs das Eisen sehr stark weiſsglühen, um im Zustande des Verbrennens zu bleiben und stark Funken zu sprühen, weil es im Gegentheil sonst schnell erkaltet. Die Ursache liegt offenbar darin, daſs stark weiſsglühendes Eisen groſse Affinität zum Sauerstoff hat und daher durch rasches Verbrennen die abkühlende Wirkung des Luftstroms aufhebt. Die äuſserste Grenze bildet wohl ohne Zweifel das Platin, welches zwar im Knallgasgebläse mit Funkensprühen im Fluſs bleibt, aber dennoch seinen Metallglanz nicht verliert.

142) β) Die zweite Bedingung des Verbrennens, in der hier genommenen engeren Bedeutung, ist die *Menge des vorhandenen oder entwickelten Sauerstoffgases.* Ist gar kein Sauerstoffgas vorhanden und der Zutritt desselben gänzlich abgeschnitten, so ist schon der Natur der Sache nach gar kein Verbrennen, auch selbst der verbrennlichsten Substanzen, mehr möglich und selbst Phosphor, Kalium, so wie die sonstigen allerverbrennlichsten Substanzen können daher im reinen Stickgas und Wasserstoffgas nicht verbrannt werden. Für Wasserstoffgas läſst sich dieses durch einen artigen Versuch anschaulich machen. Füllt man eine etwas groſse gläserne Flasche mit kurzem Halse und etwas weiter Oeffnung voll Wasserstoffgas, und hält man sie mit der Mündung nach unten gekehrt so, daſs das leichtere Gas in ihr ohne eindringende atmosphärische Luft bleibt, so kann man mit einer brennenden Kerze das Gas am unteren Rande der Oeffnung entzünden; im Innern der Flasche wird die Kerze erlöschen, beim Herausziehen aber an dem unten fortbrennenden Wasserstoffgas wieder entzündet werden, und so kann man dieses Entzünden und Auslöschen mit Vorsicht etliche Male wiederholen, muſs

1 London and Edinb. Phil. Mag. N. LXVIII. p. 407. N. LXIX. p. 446. Bibl. univ. 1838. Janv. p. 195.

dann aber die Mündung der stets lothrecht gehaltenen Flasche wieder unter das Sperrwasser bringen, um eine sonst erfolgende Explosion zu vermeiden. Füllt man umgekehrt ein etwas weites Glas mit Kohlensäure und bedeckt man dasselbe vor dem Wegnehmen aus der pneumatischen Wanne mit einer genau schliefsenden Glasplatte so, dafs es sich umkehren und die Platte wegziehen läfst, ohne Eindringen von atmosphärischer Luft, so wird die Flamme einer in das schwerere Gas eingesenkten Kerze erlöschen, ja das schwerere Gas läfst sich mit Vorsicht aus dem ersten Glase in ein zweites giefsen und in diesem der Versuch wiederholen. Ebenso wird ein Stück Phosphor in einem kleinen Platinlöffel liegend, wenn man es schnell in die Mitte der grofsen und breiten Flamme einer Weingeistlampe bringt, zwar schmelzen und stark verdampfen, sich aber nicht entzünden, weil die umgebende Flamme alles von aufsen zuströmende Sauerstoffgas verzehrt. Aus gleicher Ursache ist der leicht zu verkohlende Docht einer Kerze mitten in der Flamme schwarz und nicht glühend, denn nirgends, sagt Lichtenberg, um durch einen paradoxen Ausdruck die Sache anschaulicher zu machen, findet das Verbrennen weniger statt, als mitten in einer brennenden Flamme. Blofs das mehr hervorragende Ende des Dochtes fängt an zu glühen und mufs weggeschnitten werden, wenn es zu lang ist. Walker[1] schlug daher vor, man solle die Unschlittkerzen nicht gerade stellen, sondern in einem Winkel von 30° gegen die Verticale geneigt, damit der aus der Flamme herausstehende Docht durch Zutritt von Sauerstoffgas verzehrt und das lästige Schneuzen überflüssig würde. Ebendaher können Körper, die bereits mit Sauerstoff gesättigt sind, als Wasserdämpfe, Metalloxyde, Erden u. s. w., zwar zum Glühen gebracht, geschmolzen und verflüchtigt werden, aber ein Brennen derselben ist unmöglich.

Es liegt sehr nahe bei der Sache, dafs Zuführung von Luft, noch mehr aber von Sauerstoffgas, das Brennen erhöhen mufs, weil dadurch die nothwendig erforderliche Bedingung desselben verstärkt und somit die Wirkung erhöhet wird. Hierher gehören die Versuche der Londoner Societät, wonach auf einer glühenden Kohle, wogegen ein Strom Sauerstoffgas

---

1 Bibliothèque britann. T. XXV. p. 352. Nicholson's Journ. T. III. p. 272. G. XIII. 240.

geblasen wird, Diamant sich verflüchtigt, Wedgwood'sche Thonkügelchen schmelzen und aus Kieselerde bestehende Fossilien, z. B. Amethyste, Sapphire, Topase, Rubine, Granaten u. s. w., sich in Fluſs bringen lassen[1]. Hieran schlieſst sich *Marcet's Lampe*[2] und das *Knallgasgebläse*, jedoch kann ich dem, was hierüber bereits gesagt worden ist[3], nichts Wesentliches hinzusetzen, wenn ich auch die weiteren Versuche von Silliman[4] und Murray[5] noch erzählen wollte. Eine minder intensive Wirkung erzeugt freier Zutritt der atmosphärischen Luft, besser ein künstlicher Luftstrom, und dieses führt dann zu der Betrachtung der verschiedenen Gebläse vom einfachen *Löthrohre* der Mineralogen bis zu den groſsen Gebläsen der Hohöfen, wovon bereits gehandelt worden ist[6]. In Beziehung auf das Löthrohr möge hier noch erwähnt werden, daſs seitdem zwei Vorschläge gemacht worden sind, das nur für Einige, für die Meisten nicht beschwerliche anhaltende Blasen aus den Lungen zu vermeiden. Danger[7] räth, die zum Ausströmen der Luft bestimmte Spitze in eine Thierblase zu stecken und letztere durch ein anderes hineingehendes Rohr mit Luft zu füllen, zugleich aber, um einen stärkeren Luftstrom zu erhalten, die Blase durch vier herübergezogene Schnüre mit Gewichten zu pressen; eine etwas weitläuftige und unbequeme Einrichtung. Zweckmäſsiger ist ein Vorschlag von K. T. Kemp[8]. Hiernach wird die Luft durch das Rohr D in das Gefäſs AB geblasen, und ihre Rück- Fig.
strömung durch das Quecksilber d im inneren Behälter E ge- 48.
hindert, so daſs sie dann einige Zeit, allerdings aber mit abnehmender Stärke, aus dem Röhrchen C gegen die Flamme der Lampe bläst.

143) *γ*) Eine dritte Bedingung, die auf das Verbrennen

---

1 Tilloch's philos. Magaz. T. VIII. p. 21. 262. 322. Scherer's Journ. Th. VIII. S. 501.

2 S. Art. *Gebläse*. Bd. IV. S. 1158.

3 S. ebend. S. 1159. Vergl. The Gasblow-pipe, by Clarcke. Lond. 1819.

4 Aus Amer. Journ. of Science in Tilloch's philos. Mag. T. L. p. 109.

5 Tilloch's philos. Mag. T. XLVIII. p. 433. T. XLIX. p. 47.

6 S. Art. *Gebläse*. Bd. IV. S. 1133 ff. Vergl. Laboratorium. Ht. I. Dingler's polyt. Journ. Th. XXXVIII. S. 123.

7 Journ. de Pharmac. 1829. Janv. p. 12.

8 Edinburgh New Phil. Journ. N. XII. p. 340.

einen nicht geringen Einfluſs äuſsert, ist eine gröſsere Ausbreitung der verbrennlichen Substanzen in der Art, daſs sie dem Sauerstoffgas mehr Oberfläche darbieten und dadurch den Zutritt desselben erleichtern. Hierher gehörige Erscheinungen giebt es in Menge; ihre Erklärung ist aber durchaus nicht schwierig. Groſse Massen Schwefel erlöschen von selbst, kleine an Hölzchen setzen diese in Brand; ebenso verhalten sich groſse Massen Pech, statt daſs Pechfackeln und Pechkränze begierig verbrennen. Wachs, Oel, Unschlitt u. s. w. lassen sich in Massen nicht entzünden, werden sie aber in kleinen Quantitäten durch die Capillarität der Dochte gehoben und mit groſser Oberfläche der Flamme dargeboten, so unterhalten sie diese fortwährend. Zweckmäſsig machte daher Alströmer[1] die Lampendochte bandförmig, und eine groſse Verbesserung war die des Bürgers d'Argand aus Genf, dem aus einem hohlen Cylinder bestehenden Dochte von beiden Seiten frische Luft zuzuführen. Ein die Sache erläuternder interessanter Versuch läſst sich anstellen, wenn man kleine sehr dünne Scheibchen von einer Stange *Phosphor* abschneidet und auf Baumwolle legt. Bei mittlerer Temperatur von etwa 15° C. schmelzen diese durch eigene Wärme zu kleinen Kügelchen und gerathen in Brand, besonders wenn man sie mit einem kleinen Hölzchen etwas aus einander zieht, während die daneben liegende Stange bloſs verdampft, ohne in Brand zu gerathen.

144) δ) Wo nicht die wesentlichste, doch eine der wichtigsten Bedingungen des Brennens ist die *Temperatur*, wie schon daraus von selbst folgt, daſs die Wärme nicht nur überhaupt von groſsem Einflusse auf chemische Verbindungen ist, sondern auch namentlich die Verwandtschaft des Sauerstoffs zu den verbrennlichen Körpern erhöhet, jedoch bei den verschiedenen auf ungleiche Weise. Sehr hervorstechend ist dieses vorzüglich bei den Metallen, deren Oberfläche in höheren Temperaturen oxydirt wird und dadurch verschiedene Farben annimmt, das sogenannte *Anlaufen;* vorzugsweise aber zeigt sich dieses beim Eisen, welches nach der Dicke der oxydirten Oberfläche strohgelb, orange, blau und violett wird, überhaupt aber in einer Temperatur von etwa nur 200° bis 300° C. sich so schnell oxydirt, daſs es eben daher zu Apparaten, die in solcher Wärme

1 Schwed. Abhandl. für d. Jahr 1784. N. XXII.

beim Zutritt der freien Luft angewandt werden sollen, sich nicht eignet. Kupfer, Messing, Zink und Silber verhalten sich auf ähnliche Weise in Temperaturen, die vom Puncte ihres Verbrennens noch weit abstehen, beim Eisen aber wird die Verwandtschaft zum Sauerstoff durch Hitze so gesteigert, dafs es im Zustande des Weifsglühens selbst das Kali zerlegt. So verbrennt eine Stahlfeder in Sauerstoffgas nur dann, wenn man ihre Spitze glühend macht, was meistens durch ein aufgestecktes und entzündetes Stückchen Schwamm geschieht, aber auch durch einen elektrischen Flaschenschlag bewirkt werden kann. Die sehr verbrennlichen Kohlen, einzeln im Zustande des Glühens auf Eisen oder einen Stein gelegt, erlöschen, ächte Steinkohlen selbst im Strome kalter Luft; wird ihnen aber in gröfseren Massen vereint die Wärme nicht entzogen, so verbrennen sie mit grofser Heftigkeit. Ist der Diamant unter einer mit Sauerstoffgas gefüllten Campane durch den Focus grofser Brennspiegel zum Glühen gebracht worden, so verbrennt er von selbst[1], für welchen kostbaren, früher so höchst wichtigen Versuch ein eigener Apparat durch Herapath[2] angegeben worden ist. Oel brennt nicht für sich in mittlerer Temperatur; ist es aber bis auf etwa 150° bis 200° C. erhitzt worden, so brennt es mit grofser Heftigkeit nach begonnener Entzündung, worauf die Gefahr bei der Bereitung des Oelfirnisses und der Buchdruckerschwärze durch Sieden beruhet.

145) In specieller Beziehung hat diese Aufgabe viel Aufsehen durch einen längere Zeit geführten Streit erregt. Theodor v. Grotthuss[3] stellte den Satz auf, dafs die Verbrennlichkeit der Körper vom Grade der Luftverdichtung abhänge und demnach in einer Höhe von etwa 35000 Fufs gar kein Brennen mehr möglich seyn würde. Nach weiteren Versuchen fand er aufserdem[4], dafs ein Gemenge aus Hydrogengas und Chlorgas sich unter atmosphärischem Drucke leicht durch den elektrischen Funken entzünden lasse, keineswegs aber bei einer

1 Nach den älteren Versuchen von Landriani in Ann. de Chimie T. XI. und Gren's Journ. Th. VII. S. 428 und den späteren von H. Davy. Aus d. Phil. Trans. in Schweigger's Journ. Th. XII. S. 200. Vergl. Ann. de Chim. T. XXXI. p. 72.

2 Journ. de Pharm. 1830. N. X. p. 615.

3 Gehlen's Journ. Th. IX. Ht. 2.

4 Schweigger's Journ. Th. III. S. 130. Vergl. G. LVIII. 345.

nicht genau angegebenen, ungefähr aber das Sechsfache erreichenden Verdünnung, worauf er den Schlufs gründete, dafs manche nicht leicht verbrennliche Körper, namentlich Gase, unter stärkerem atmosphärischen Drucke verbrennen würden. Als er eine Mengung aus Wasserstoffgas und Luft durch Hitze ausgedehnt hatte, war es ihm unmöglich, durch einen elektrischen Funken Entzündung hervorzubringen, auch entzündete sich dasselbe nicht durch einen genäherten brennenden Spahn, worauf er den Schlufs gründete, dafs das etwa 4- bis 5mal durch verminderten Druck oder Hitze ausgedehnte Wasserstoffgas weder durch den elektrischen Funken noch durch eine Flamme entzündet werden könne. Aufser einigen andern entnimmt er hieraus auch die Erklärung, warum das Wasserstoffgas in Berührung mit atmosphärischer Luft nicht durch eine glühende Kohle, sondern nur durch einen flammenden Körper entzündet werden könne. Wie Grotthuss diese Aufgabe noch weiter verfolgte und mit anderweitigen Naturgesetzen in Einklang zu bringen suchte[1], scheint mir überflüssig, hier auseinanderzusetzen.

146) Bald nachher, als diese Resultate bekannt geworden waren, stellte H. Davy seine Untersuchungen über die Mittel an, die Entzündung der schlagenden Wetter in den Bergwerken zu hindern, die ihn dann zur Erfindung seiner *Sicherheitslampe* führten[2], wozu er nicht, wie zur Entdeckung der Metalloide, durch zufällige Anwendung eines nur Wenigen zu Gebote stehenden mächtigen Apparates, sondern durch scharfsinnige Combinationen gelangte. Zuerst leitete ihn die Erfahrung, dafs entzündliche Gasarten nicht explodiren, wenn sie aus einem Röhrchen von 0,2 Zoll Durchmesser ausströmend am Ende desselben verbrennen, und er betrachtete dieses als eine Folge der Abkühlung durch das Metall, woraus er dann weiter folgerte, dafs man nur für genügende Abkühlung sorgen müsse, um die Entzündung solcher Gasarten zu hindern. Fortgesetzte Untersuchungen zeigten dann wirklich, dafs ein Drahtgeflecht von Messingdraht 0,02 Zoll dick mit 100 Oeffnungen auf einen Quadratzoll einem Gemenge von 1 Th. Kohlenwasserstoffgas und 12 Th. atmosphärischer Luft die Entzündung mittheilte, wenn

---

1 Schweigger's Journal. Th. IV. S. 238. Th. IX. S. 327.

2 S. Art. *Lampe*. Bd. VI. S. 62 ff.

es heiſs wurde oder wenn man eine damit umgebene Lampe in der Mengung bewegte; enthielt dagegen ein solches Geflecht 196 Oeffnungen auf einen Quadratzoll, so fand die Entzündung erst beim Rothglühen, aber nicht bei der Bewegung statt. Ein Geflecht von Eisendraht, $\frac{1}{40}$ Zoll dick und 240 Oeffnungen auf 1 Quadratzoll enthaltend, sicherte so lange, als es nicht stark rothglühend wurde, war dasselbe aber von $\frac{1}{50}$ Zoll dickem Eisendrahte verfertigt und 576 Oeffnungen auf 1 Quadratzoll enthaltend, so fand bei der stärksten Zuströmung aller Arten von Mengungen der entzündlichen Gasarten, selbst bei starker Glühhitze, keine Explosion statt, ja sogar Knallgas entzündete sich nicht, wenn die Flamme der Lampe von einem solchen Gewebe aus Messingdraht umgeben war, obgleich das Drahtgeflecht weiſs glühete und der Versuch zur Verhütung seines Schmelzens abgebrochen werden muſste[1].

H. Davy[2] unterstützte die hieraus entlehnte Folgerung, daſs die Abkühlung das Entzünden selbst der verbrennlichsten Körper, sogar der explodirenden Gasgemenge, unmöglich mache, durch eine weitere Reihe interessanter Versuche. Legt man einen einfachen Baumwollenfaden in Oel[3] und entzündet man ihn auf der Oberfläche desselben, so erhält man ein Flämmchen von $\frac{1}{30}$ Zoll Durchmesser. Biegt man einen Eisendraht von $\frac{1}{180}$ Zoll Dicke[4] in einen Ring von $\frac{1}{10}$ Zoll Durchmesser und schiebt ihn über das Flämmchen, so wird er dieses auslöschen, so lange er kalt ist, nicht aber dann, wenn er durch dieselbe genügend erhitzt ist; ein gleicher gläserner Ring löscht die Flamme nicht aus, auch wenn er noch keine höhere Temperatur angenommen hat, woraus hervorgeht, daſs die Ursache im ungleichen Ableitungsvermögen liegt. Nähert man ein metallenes Knöpfchen von $\frac{1}{20}$ Z. Durchmesser dem Flämmchen bis auf die Weite seines Durchmessers, so wird sie erlöschen, wenn jenes nicht einen bedeutenden Hitzegrad besitzt.

---

1 Philos. Trans. 1816. p. 1 ff.

2 Ebendaselbst 1817. p. 71 ff.

3 Bequemer bedient man sich hierzu ganz dünner Wachskerzen, die man in Glasröhren selbst gieſsen kann.

4 Bequemer ist es, statt eines so dünnen Drahtes einen dickeren von etwa 0,3 Lin. Durchmesser anzuwenden.

147) Diesen ähnliche Versuche machte G. Oswald Sym[1] und zwar nicht mit einem Faden im Oel, sondern mit kleinen, sehr dünnen Wachskerzen. Hält man in die Flamme derselben einen einzelnen Draht, so wird der obere Theil derselben vermindert, und dieses zunehmend, wenn man zu mehreren Drähten und zu stets engeren Geflechten übergeht. Hält man über die durch ein Metallgeflecht unterbrochene Flamme die Hand oder ein Thermometer, so gewahrt man nach Wegnahme des Geflechtes sofort eine gröfsere Wärme. Die Verminderung der Wärme dauert jedoch blofs so lange in ihrer ganzen Stärke fort, bis das Netz glühet, doch kann die Hitze über dem Geflechte nie höher, als die des Geflechtes ist, steigen, wonach also bis zu einer gewissen Grenze das Entflammen der Gasarten aufserhalb des Geflechtes unmöglich bleibt. Wird das Metallnetz horizontal in die Flamme gehalten, so wird sie dadurch abgeschnitten, wobei ein Theil des verflüchtigten Wachses durch das Geflecht entweicht, sich zum Theil an dasselbe legt, zum Theil über demselben verbrannt werden kann, so dafs die Flamme hiernach aus zwei Theilen mit einem mittleren nicht glühenden, folglich dunklen, besteht[2]; ja es läfst sich sogar eine Flamme durch zwei, etwas mehr als 0,5 Z. von einander abstehende, Drahtgeflechte in drei Theile theilen. Fehlt der oberste Theil der Flamme, so gewahrt man, von oben herabsehend, in derselben am deutlichsten einen dunklen Cylinder, welcher auch im gewöhnlichen Zustande in der Flamme vorhanden zu seyn pflegt und den man für verflüchtigtes Wachs hält. Die Flamme einer Argand'schen Lampe, durch ein Drahtgeflecht in der Mitte durchschnitten, giebt daher zwei leuchtende, einen mittleren dunklen umgebende concentrische Ringe, indefs fehlt der dunkle Theil der Flammen bei allen mit Sauerstoffgas gemischten brennbaren Gasarten, weswegen diese auch einen weit höheren Grad der Hitze und des Leuchtens geben.

---

1 Annals of Philos. T. VIII. p. 321. Biblioth. univ. T. IV. p. 165. Ann. de Chim. et Phys. T. IV. p. 385. Die Einwendungen, welche Murray (s. G. LXIX. 236) hiergegen gemacht hat, und die von ihm gegebene Erklärung scheint mir nicht bedeutend genug, um hier besonders erörtert zu werden. Dieses dürfte auch der Fall seyn mit den Zweifeln, die Grotthuss ebend. S. 241 dagegen aufgestellt hat.

2 Mit einem kleinen Drahtringe läfst sich dieser Versuch leicht auf eine interessante Weise anstellen.

148) H. Davy[1] wandte die eben erwähnten Thatsachen dazu an, den durch Grotthuss aufgestellten Satz, daſs das Verbrennen, namentlich der Gasarten, durch Verdünnung unmöglich werde, zu widerlegen, und stellte ihm einen andern entgegen, daſs nämlich die Verbrennung durch die Temperatur bedingt sey. Er brachte ein Gefäſs, worin Wasserstoffgas entwickelt wurde und an der Oeffnung einer feinen Spitze mit einer $\frac{1}{6}$ Zoll hohen Flamme verbrannte (*lumen philosophorum*), unter einen Recipienten von 200 bis 300 Kubikzoll Inhalt. Beim Exantliren bis zur fünffachen Verdünnung nahm die Flamme zu[2], dann aber bis zur achtfachen ab, wobei sie erlosch. Daſs die Ursache hiervon nicht am Mangel des Sauerstoffgases lag, zeigte sich, als er das nämliche Gefäſs mit gröſserer Flamme anwandte, wobei die Spitze glühete und die Verdünnung der umgebenden Luft deswegen bis zur zehnfachen getrieben wurde, ehe die Flamme erlosch. Demnächst wickelte er um die Ausströmungsspitze des Gases einen Platindraht, dessen Ende in die $\frac{1}{6}$ Zoll hohe Flamme endigte und daselbst glühend wurde, worauf sich die Verdünnung bis zur zehnfachen bringen lieſs, indem die Flamme unten erlosch, am glühenden Platindraht aber weiter brannte, bis zur dreizehnfachen Verdünnung. Der hierauf gegründete Schluſs, daſs alle Körper nach Verhältniſs ihrer leichtern Entzündlichkeit und gröſseren erzeugten Hitze im stärkeren Vacuum verbrennen würden, fand vollkommene Bestätigung, indem Schwefel in 20fach, Phosphor nach van Marum in 60fach verdünnter Luft noch brannte, Phosphorwasserstoffgas aber im stärksten Vacuum einer Nairne'schen Luftpumpe noch einen Lichtschein gab. Daher entzündete sich auch bis zum 18fachen verdünntes Knallgas noch durch den elektrischen Funken, wenn die damit gefüllte Röhre bis nahe zum Schmelzen des Glases erhitzt war. Davy glaubt daher auch gegen die Ansicht von Higgins, Berthollet und anderer annehmen zu müssen, daſs die Entzündung der verbrennlichen Gasmischungen durch den elektrischen Funken nicht von einer Verdichtung des Ganzen oder eines Theils derselben in

1 Philos. Trans. 1817. p. 45. G. LVI. 225.

2 Ohne Zweifel war hierbei die erleichterte Entwickelung des Wasserstoffgases mitwirkend; auf jeden Fall darf dieser Umstand nicht übersehen werden.

Folge einer Ausdehnung eines andern Theiles durch Hitze abzuleiten sey, sondern lediglich von der Erhitzung, welche Ursache auch die Entzündung des Knallgases durch Compression herbeiführe. Die Erscheinungen, worauf Grotthuss seine Folgerungen gebauet hatte, daſs die Entzündung der verbrennlichen Gase durch ihre Ausdehnung gehindert werde, erklärte Davy auf eine ganz andere Weise, indem er annahm, daſs die Entzündung nicht in Folge der Ausdehnung, sondern der beigemengten Wasser- und Quecksilberdämpfe ausgeblieben sey, wonach also der ganze Beweis ungültig werde. Davy dehnte, um dieses zu beweisen, Knallgas über trocknem Quecksilber bis zum 2,5fachen seines Volumens durch Hitze aus, machte dann das Ende der Röhre rothglühend, und es erfolgte sogleich Explosion. Wurde Knallgas langsam durch eine lange stark erhitzte Glasröhre geleitet, so erfolgte die Explosion vor dem Rothglühen derselben. Eine glühende Kohle soll nach Grotthuss das Knallgas bloſs ausdehnen, aber nicht entzünden, allein nach Davy findet die Entzündung allerdings statt, wenn die Kohle hinlänglich glühet und frei von Asche ist[1]; glühet sie dagegen weniger, so erfolgt eine langsame Verbindung des Gases zu Wasser. Um das aufgestellte Argument noch mehr zu unterstützen und zu zeigen, daſs in den Versuchen von Grotthuss die Beimischung heterogener expansibeler Flüssigkeiten, nicht aber die Ausdehnung, die Entzündung gehindert habe, zeigte Davy, daſs die Explosion des Knallgases durch einen kräftigen elektrischen Funken in Folge der Beimischung von 8 Theilen Wasserstoffgas, 9 Th. Sauerstoffgas, 11 Th. Salpetergas, 1 Th. Kohlenwasserstoffgas, 2 Th. Schwefelwasserstoffgas, 0,5 Th. ölerzeugendes Gas, 2 Th. salzsaures Gas, 1,2 Th. kieselhaltiges fluſssaures Gas aufgehoben werde. Aus der Dichtigkeit und specifischen Wärmecapacität dieser Gasarten läſst sich dieses Verhalten nicht erklären, indeſs vertragen diejenigen Gasarten, welche eine geringere Hitze zu ihrer Entzündung bedürfen, eine gröſsere Menge zugesetzter Gasarten, ohne daſs ihre Explosion gehindert wird. So werden z. B. gleiche Theile Chlor- und Wasserstoffgas nach Beimischung von 18 Theilen Sauerstoffgas noch entzündet, aber Kohlenwasserstoff- und Sauerstoffgas im gehörigen Verhältniſs, nämlich 1 und 2, ge-

---

1 Dieses bestätigen die Erfahrungen Parrot's in G. LXIII. 76.

mengt werden schon durch Beimischung von 3 Theilen Sauerstoffgas an der Explosion gehindert. Wasserdampf mufste in grofser Menge der Luft beigemischt seyn, wenn er das Brennen des Schwefels hindern sollte. Knallgas wurde noch durch den elektrischen Funken entzündet, obgleich ein fünffaches Volumen Wasserdampf beigemischt war, kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas mit Luft gemischt erforderte $\frac{1}{3}$ seines Volumens Wasserdampf und nur $\frac{1}{5}$ Stickgas, um die Explosion zu hindern[1]. Endlich fand Davy, dafs ein durch die Volta'sche Säule weifsglühend gemachter Eisendraht und glühende Kohle in 5mal verdichteter Luft nur wenig stärker brannten, als in gewöhnlich dichter, auch nicht zu brennen fortfuhren, wie im Sauerstoffgas, woraus er folgert, dafs die Verbrennung in allen Höhen über der Meeresfläche und bei jedem Barometerstande auf gleich gute Weise vor sich gehe.

149) Man bewundert in der That den Fleifs bei der Anstellung dieser vielen Versuche und den Scharfsinn bei der Combination der erhaltenen Resultate in dieser classischen Arbeit des berühmten Britten. Sofern aber noch neuerdings mitunter geäufsert worden ist, die durch v. Grotthuss aufgestellten Sätze seyen wohl noch nicht vollständig widerlegt, könnte man vermuthen, das unparteiische kritische Urtheil sey durch die überwiegende Masse der von seinem Gegner aufgehäuften Thatsachen gleichsam erdrückt und befangen gemacht, indefs mufs eine genaue Prüfung doch die Entscheidung zu Gunsten seines überlegenen Gegners wenden. Abgerechnet dafs durch Davy's Versuche der Grund der unrichtigen Ansicht, wozu v. Grotthuss geführt wurde, nachgewiesen worden ist, und dafs die Versuche des Letzteren weder so zahlreich noch so genau und allseitig genügend begründet sind, steht seinem Satze schon das allgemeine Argument entgegen, dafs die chemischen Anziehungen ungleich mächtiger, als mechanische Mittel wirken. Sofern wir aber das Verbrennen im Allgemeinen als eine Folge des Chemismus betrachten und dieser durch Wärme so bedeutend verstärkt wird, erwächst hierdurch ein neues gewichtiges Ar-

---

1 Waldie in seinen Untersuchungen über die Flamme gelangt zu dem Resultate, dafs unverbrennliche Gasarten das Verbrennen im Verhältnifs ihrer Dichtigkeiten hindern und dafs diese hindernde Wirkung eine Folge der gröfseren Diffusion der Flamme in den dichteren Gasarten ist. S. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXXX. p. 93.

gument. Allerdings scheint der Versuch mit dem Tachopyrion für GROTTHUSS zu entscheiden, allein es folgt hieraus blofs die Erzeugung der Wärme, nicht aber das leichtere Verbrennen durch Compression. Dagegen beweiset die neuere Erscheinung mit DÖBEREINER's Platinschwamm, dafs die durch Compression des Knallgases erzeugte Hitze hinreicht, um dasselbe zu entzünden, und dafs es eben die erhöhete Wärme ist, welche die Vereinigung beider Gase zu Wasser herbeiführt.

150) H. DAVY entnahm aus seiner Theorie die Construction der nach ihm benannten *Sicherheitslampen*[1] (Lampes de Sûreté; *Savety-Lamps*). Hierüber möge hier noch nachträglich bemerkt werden, dafs die Construction derselben zwar verschiedentlich abgeändert worden ist[2], ohne jedoch im Wesentlichen von dem die Sicherung bedingenden Principe abzuweichen. Inzwischen hatte schon DAVY bemerkt, dafs seine Lampe nicht schützt, wenn die schlagenden Wetter sehr bewegt sind, weil dann die Flamme durch die Oeffnungen des Geflechtes getrieben wird. DR. GURNEY[3] zeigte später durch Versuche, dafs bei einer Geschwindigkeit des bewegten Gases von 5 engl. Fufs in 1 Sec. die Geflechte von 120 bis 140 Oeffnungen auf 1 Quadratcentimeter von der Flamme durchdrungen werden, und COMBES führt mehrere Beispiele an, dafs Explosionen auf diese Weise statt fanden. Ein englischer Bergmann, ROBERTS, gab daher den Lampen die Einrichtung, dafs er sie von aufsen in einen gläsernen Cylinder einschlofs, unten aber einen abgekürzten hohlen Kegel von Kupfer anbrachte, durch dessen obere, etwa einen Zoll weite Oeffnung die Flamme aufsteigt, dessen untere Fläche aber durch Metallgaze geschützt ist. Auch Baron DU MESNIL[4] in Birmingham läfst diese Lampen aus einem Cylinder von Flintglas verfertigen, welcher durch 12 Eisenstäbchen geschützt ist und unten zwei durch Drahtgeflechte verschlossene Oeffnungen, oben aber einen offenen, nur mit einem gebogenen Bleche bedeckten Schornstein hat. Verbrennt das unten einströmende Kohlenwasserstoffgas, so fängt der gläserne Schornstein an zu tönen und zeigt dadurch dessen Anwesen-

1 H. DAVY on the Savety-Lamp. Lond. 1818.
2 S. Laboratorium. Ht. XXV. Taf. XCIX.
3 L'Institut. 1836. N. 186.
4 Froriep Notizen. N. XI. S. 21.

heit[1]. Im Allgemeinen scheint jedoch die ursprüngliche Einrichtung in der praktischen Anwendung beibehalten worden zu seyn, und den eben angegebenen Constructionen steht auch offenbar das leichte Zerspringen und die Zerbrechlichkeit der Glascylinder entgegen[2]. Eine eigenthümliche Anwendung des durch Davy aufgefundenen Schutzmittels gegen die Einwirkung der Flamme hat Aldini[3] in Vorschlag gebracht, indem er rieth, die Personen, welche bei Feuersbrünsten die Spritzen bedienen oder Sachen aus brennenden Häusern retten, so wie diese Sachen selbst mit einem Drahtgeflechte zu umgeben. Unter einem solchen Panzer sollten die Personen aufserdem mit einer Bekleidung von Amianth oder noch besser von vielfachem, durch Salmiak und Borax unverbrennlich gemachten Wollenzeuge[4] umgeben seyn. Einige höchst gefährlich scheinende Versuche, um dieses Mittel zu prüfen, gaben sehr genügende Resultate.

151) Endlich möge hier noch bemerkt werden, dafs die Wirkung der Drahtgeflechte nach Libri[5] nicht auf der durch sie erzeugten Abkühlung, sondern auf einer Repulsion derselben gegen die Flamme beruhen soll, weil die Wärme allgemein repulsiv wirke. Libri gründet diesen Widerspruch gegen die gangbare Theorie hauptsächlich auf die Versuche Deuchar's[6], wonach die Flamme der zum Entzünden des Schiefspulvers von diesem angewandten explodirenden Gemenge selbst durch 12 Metallgewebe auf eine Strecke von ungefähr 3 Fufs hindurchdrang, und auf seine eigenen Beobachtungen, dafs die Flammen sich um einen ihnen genäherten Körper ohne Einflufs seiner Wärmeleitung umbiegen. Poggendorff mit seinem gewohn-

---

1 Vergl. Art. *Harmonica, chemische.* Bd. V. S. 97.

2 Eine reichliche Nachlese zu dem, was hierüber bekannt geworden ist, findet man in den jetzt erschienenen Abhandlungen, welche um den von der Societät zu Brüssel für das Jahr 1840 ausgesetzten Preis concurrirten und in einem Bande vereint sind, unter dem Titel: Des moyens de soustraire l'exploitation des mines de houille aux chances d'explosion. Recueil de mémoires et de rapports publié par l'Acad. Roy. des sciences et belles lettres de Bruxelles. 1840. 8.

3 Bibliothèque univ. T. XXXVII. p. 159. Ann. de Chim. et Phys. T. XLII. p. 214.

4 Nach einem Vorschlage in Ann. de Chim. T. XVIII. p. 211.

5 Biblioth. univ. T. XXXIV. p. 173. Poggendorff's Ann. X. 294.

6 Annals of Philos. New Ser. T. I. p. 93. 206.

ten Scharfsinn bemerkt, dafs sich gegen die aufgestellte neue Hypothese manches einwenden lasse, was auch allerdings der Fall ist. Zuvörderst hat Davy ausdrücklich bemerkt, dafs die schützende Kraft der Metallgeflechte durch Bewegung der Luft geschwächt oder ganz aufgehoben werde, und so darf es nicht auffallen, dafs die mit aufserordentlicher Geschwindigkeit fortgeschleuderte glühende Luft der explodirenden Mengungen ohne Abkühlung die Gewebe durchdringt und zündet. Wenn aber Deuchar's Versuche gegen Davy's Hypothese beweisend wären, so müfsten sie es auch gegen Libri's seyn, denn es ist nicht abzusehen, wenn ein einzelner Draht Repulsion ausübt, warum dieses nicht noch mehr durch 12 Geflechte geschehen sollte, und zwar um so mehr, da die Repulsion eine stetig wirkende Kraft ist, die Abkühlung aber auf jeden Fall Zeit erfordert. Wenn aber ferner die Wärme der Flamme repulsiv wirkt, so mufs dieses durch die Wärme der ihr genäherten Körper noch mehr geschehen, und die Abstofsung müfste daher mit der Erhitzung der genäherten Körper wachsen, was Libri nicht gefunden zu haben gesteht; andere bekannte Versuche zeigen aber, dafs genügend erhitzte Geflechte die Flamme wirklich durchlassen, wodurch die neue Hypothese direct widerlegt wird. Endlich läfst sich die Repulsivkraft der Wärme zwar nicht in Abrede stellen, allein sie wirkt nur auf verschwindende Entfernungen, wie schon daraus hervorgeht, dafs die heftigst weifsglühenden Theile vieler Körper, z. B. der Kreide im Knallgasgebläse, sich nicht abstofsen, indem sie vielmehr zusammenschmelzen oder zusammensintern. Das Umbeugen der Flamme um genäherte Körper ist übrigens leicht erklärlich, sobald man nicht übersieht, dafs die sie bildenden brennenden Gasarten in stark aufsteigender Bewegung sind und daher von genäherten Körpern zurückgestofsen werden.

152) An die Betrachtung, dafs das Brennen hauptsächlich durch die Temperatur bedingt werde, läfst sich noch eine nicht unwichtige Untersuchung knüpfen, nämlich über die Wirkung der heifsen Luft bei Schmelzöfen. Neilson[1], in der Nähe von Glasgow, erhitzte zuerst die Gebläseluft in eisernen Röhren und erzielte dadurch eine bedeutende Ersparung an Brennmate-

---

1 Poggendorff's Ann. XXXIV. 164. Biblioth. univ. de Genève. T. VII. p. 429.

rial, weswegen dieses Verfahren sofort auf den schottischen Hütten und bald nachher auch, in Folge schneller Bekanntwerdung, sehr allgemein nachgeahmt wurde. Gegenwärtig gilt es für eine vielseitig bestätigte Thatsache[1], daſs die Anwendung heiſser, bis 300° C. und noch darüber erhitzter, Luft das Schmelzen der Erze in Hohöfen nicht bloſs im Allgemeinen befördert, selbst in der Art, daſs das erforderliche Brennmaterial für diesen Zweck, wenn man zuvor die Luft erhitzt und dann das Erz schmelzt, nicht so viel beträgt, als wenn die Schmelzung mit Anwendung kalter Luft geschieht, wonach daher schon bei dieser Art der Anwendung ein Vortheil hervorgehen würde; allein ungleich gröſser wird letzterer, wenn man die ohnehin in den Schmelzöfen vorhandene Wärme dazu benutzt, die Luft vorher zu erhitzen, indem man sie durch Röhren, die sich im Ofen selbst befinden, auf- und absteigen läſst, ehe sie zum Gebläse verwandt wird, weswegen auch bei den meisten Hohöfen Einrichtungen dieser Art jetzt statt finden. Die Thatsache unterliegt keinem Zweifel, die Erklärungen aber und die angegebenen Ursachen dieses Verhaltens sind verschieden. Nach der Bekanntwerdung mehrfacher Aeuſserungen hierüber[2] und zunächst veranlaſst durch ein Memoire von Huart aus Charleroi erklärten sich die Berichterstatter Martens, Cauchy und de Hemptienne im Wesentlichen dahin[3], daſs der aus der Anwendung heiſser Luft entspringende Vortheil hauptsächlich aus zwei Ursachen abzuleiten sey. Zuerst erfolgte die Verbrennung in kürzerer Zeit und es gehe somit weit weniger Wärme verloren; zweitens aber würden Kohlen statt Cokes angewandt, deren mit verbrennender Wasserstoff nach den Untersuchungen von Lavoisier und Laplace, bestätigt durch H. Davy, dreimal mehr Wärme gebe, als ihr Kohlenstoff. Wollte man bei der Anwendung kalter Luft gleichfalls Kohlen gebrauchen, so würde der Wasserstoff derselben gröſstentheils als Kohlenwasserstoffgas oder als öliger Dampf (vapeur huileuse) entweichen

---

1 Nachricht über viele gelungene Versuche giebt Dr. Clarke in Edinb. Phil. Trans. T. XIII., daraus in Bibl. univ. de Génève. T. VII. p. 429.

2 Ann. des Mines 3me Sér. T. VI. p. 467. Ann. de Chim. et Phys. T. LIX. p. 264.

3 Bulletin de la Soc. R. de Brux. 1836. N. 9. p. 300. Vergl. l'Institut 1836. N. 188. p. 416.

und dadurch eher Wärme entziehen, als erzeugen. Ein Versuch gab gleiche Schmelzungen mit 2 Kilogramm Kohlen und Luft von 322° C. und mit 7 Kilogramm Cokes bei Anwendung kalter Luft.

153) Eine Menge theils eigener, theils fremder Erfahrungen über dieses Problem hat SOBOLEWSKOY[1] zusammengestellt, ist aber der Ansicht, dafs die Ursache der günstigen Erfolge nicht in der Anwendung heifser Luft, sondern in andern gleichzeitigen Bedingungen zu suchen sey. Gegen die von NEILSON aufgestellte Erklärung, wonach die Gesammtmenge der Wärme im Hohofen durch diejenige vermehrt werde, welche der Luft vorher mitgetheilt worden sey, läfst sich leicht die Geringfügigkeit dieser Gröfse geltend machen; die Sache selbst betreffend soll aber die Ursache in einer besseren Regulirung der Gebläse, namentlich in der Anwendung von weniger, aber unter höherem Drucke schneller strömender Luft liegen. Unter andern habe KNAUF bei seinen angestellten Versuchen gefunden, dafs 100 Kubikfufs Luft, unter einem Drucke von 2 Zoll Quecksilberhöhe einströmend, ebenso viel Hitze erzeugen, als 200 K. F. unter einem Drucke von 1 Zoll, und so habe auch DUFRÉNOY, als er Luft von 322° C. anwandte, die Menge derselben von 3500 K. F. auf 2626 K. F. vermindert. Im Wesentlichen beruhe also die ganze Sache auf dem Umstande, dafs durch schnelleres Zuströmen der Luft ein stärkerer Zug und dadurch ein besseres Verbrennen der Kohlen in den Hohöfen erzeugt werde. Hiergegen erinnert BUFF[2], dafs allerdings das gute Ziehen bei Hohöfen nothwendiges Erfordernifs sey, allein keineswegs genüge, um die Resultate der Erfahrungen daraus zu erklären, die man über die Gebläse mit heifser Luft erhalten habe.

Es steht dem letztgenannten Physiker um so mehr ein Urtheil in dieser Sache zu, als die Versuche, die er selbst in Gemeinschaft mit dem Hütten-Inspector PFORT anstellte[3], zu den wichtigsten gehören, die wir über dieses Problem besitzen.

---

1 Poggendorff's Ann. XXXIV. 163.

2 Ebend. XXXVII. 196.

3 Aus den Studien des göttingischen Vereins bergm. Freunde in Poggendorff's Ann. XXXVII. 173. Vergl. Ann. de Pharmac. T. XIII. p. 129.

Sie sind mit Umsicht und mit genauer Beachtung des dabei sich zeigenden Verhaltens angestellt worden, und der grofse Vortheil, den das Gebläse mit heifser Luft gewährt, geht klar daraus hervor. Die Versuche, welche im Kleinen über die Verbrennung der Kohlen in Glasröhren beim Zuströmen kalter oder heifser Luft gemacht wurden, geben leicht durch Nebenbedingungen verwickelte Resultate, im Ganzen aber zeigen sie, dafs da, wo heifse Luft zu den entzündeten Kohlen tritt, das Brennen rascher und mit gröfserer Energie statt findet. Die im Ganzen richtige Erklärung läuft also darauf hinaus, dafs die bereits glühenden Kohlen durch die hinzukommende kalte Luft in ihrem raschen Brennen nicht zurückgehalten werden, daher an der Stelle dieses Zuströmens energischer brennen und eine gröfsere, die Schmelzung des Erzes herbeiführende, Hitze entwickeln. Um sich die Sache zu versinnlichen, dürfte man sich nur vorstellen, dafs eine geraume Zeit eine beträchtliche, zum Schmelzen des Erzes aber ungenügende Hitze erzeugt würde, wodurch begreiflicher Weise eine grofse Quantität Brennmaterial unnütz verschwendet werden müfste; die Wärme erhöhet dagegen die Anziehung des Kohlenstoffs zum Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft, es wird keine Zeit, und somit keine unnütze Consumtion des Brennmaterials, verloren, um die kalte Luft erst zu erwärmen, wodurch der Schmelzprocefs nothwendig erhöhet werden mufs. Darum ist an der Stelle des Zutritts der heifsen Luft das Brennen so energisch; dort schmelzt das Erz rascher, die Gicht geht aber langsamer nieder und es wird somit Brennmaterial erspart. Bleibt bei der Anwendung heifser Luft der Druck und die Oeffnung der Düsen unverändert, so strömt in gleichen Zeiten weniger Luft in den Ofen, denn die durch Hitze ausgedehnte Luft gewinnt zwar an Fluidität und fliefst daher in gröfserer Menge durch die Düsen, zugleich aber wird ihr Volumen in einem gröfseren Verhältnifs vermehrt, durch 267° C. schon um das Doppelte, und sonach ist die ausströmende Masse in gleichen Zeiten geringer[1].

154) Eine der heifsen Luft auf gewisse Weise ähnliche Wirkung ist diejenige, welche nach den Versuchen von An-

1 Ueber diesen Gegenstand verweisen wir auf unsern ausführlichen Art. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 602.

DREW FYFE[1] Wasserdämpfe hervorbringen, die man brennenden Cokes zuführt. Hiernach siedeten unter gleichen Bedingungen gleiche Quantitäten von Wasser ohne Dampf in 20, mit Dampf in 14 Minuten; in einem anderen Versuche ohne Dampf in 10, mit Dampf in 9 Minuten. Aehnliche Versuche gaben ferner 8,5 und 6,5, so wie 6,25 und 5 Minuten. Ferner verloren gleiche Quantitäten Wasser durch Verdunstung ohne Dampf in 8 Minuten 4 Unzen, mit Dampf 5 Unzen; in zwei andern Versuchen in 15 Minuten 4,5 und 7 Unzen; in 12 Minuten 6,75 und 7,25 Unzen. FYFE zeigt durch Berechnung, dafs die im Wasserdampfe enthaltene Wärme zur Erklärung dieser Resultate nicht hinreicht, und da das Wasser, also auch dessen Dampf, als schon verbrannter Körper nicht nochmals verbrennen kann[2], so mufs angenommen werden, dafs der Wasserdampf eine Zersetzung erleide, indem sein Sauerstoff an die brennenden Kohlen übergeht, der Wasserstoff aber mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft als Flamme verbrennt, die sich wirklich auch deutlich zeigt. Hierbei findet also gleichzeitig Wasserzersetzung und Wasserbildung statt, die Wirkungen beider entgegengesetzten Processe heben sich aber nicht auf, sondern es ist durch die schnellere und energischere Verbrennung der Kohlen eine stärkere Erzeugung von Hitze vorhanden.

155) Auf das Princip, dafs die Leichtigkeit des Verbrennens durch Abkühlung zunehmend vermindert und endlich ganz unmöglich gemacht wird, sind die verschiedenen *Mittel der Feuerlöschung* gegründet. Kann durch Entziehung des Sauerstoffgases das Brennen ganz unmöglich gemacht werden, wie dieses im hohen Grade durch Verbrennung von Schwefel bei entzündeten Caminen geschieht[3], weswegen auch die Anwendung dieses Mittels in Folge gemachter Erfahrungen dem Polizeipräfecten zu Paris durch den Gesundheitsrath im Jahre 1828 empfohlen worden ist[4], so mufs dieses als eine nicht hierher gehörige Sache betrachtet werden, im Allgemeinen aber wird das Feuer erstickt und das Weiterumsichgreifen desselben dadurch unmöglich gemacht, dafs man die verbrennlichen Sachen unter diejenige Temperatur ab-

---

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLV. p. 177. Vergl. §. 157.

2 Vergl. Art. *Feuer*. B. IV. S. 203.

3 Vergl. ebend. S. 202.

4 Recueil industriel. T. XII. p. 127. Dingler polyt. Journ. Th. XXXV. S. 320.

kühlt, welche zu ihrer Entzündung erfordert wird. Hierüber ist indeſs bereits gehandelt worden[1], und daher möge nur nachträglich Folgendes bemerkt werden. Neuerdings sind Häckerlinge (in kurze, etwa 0,5 bis 0,75 Z. lange Enden zerschnittenes Stroh) als ein vorzügliches Mittel zum Feuerlöschen empfohlen worden und eigens deswegen angestellte Versuche haben sehr günstige Resultate gegeben[2]. Die ganze Sache besteht darin, daſs man eine genügende Menge dieser anscheinend so sehr entzündlichen Substanz auf brennende Gegenstände wirft und das Feuer dadurch, dem gemeinen Sprachgebrauche nach, erstickt. Die Ursache dieser Erscheinung ist nicht schwierig. Eine Decke dieser leichten Substanz genügt, den Zutritt der äuſseren, sauerstoffgashaltigen Luft zu den brennenden Körpern, von denen ohnehin die Luft und die Flamme aufsteigt, zu hindern, wodurch das bestehende Verbrennen vermindert oder aufgehoben wird. Auſserdem aber ist zwar diese löschende Substanz leicht verbrennlich, allein jedes einzelne Stückchen muſs doch zuvor die erforderliche Hitze erhalten, ehe es sich entzünden kann, und da bei den zahllosen Stückchen die Summe der Oberflächen sehr groſs ist, die brennende Masse der einzelnen entzündeten aber sehr klein, so wird hierdurch keine hinlängliche Quantität Wärme zur gleichzeitigen Entzündung vieler entwickelt. Aus gleichem Grunde verkohlen Sägespähne und Papierhaufen nur langsam, und es hält schwer, selbst wenn man sich absichtlich darum bemühet, sie vollständig zu verbrennen. Weil ferner die specifische Wärmecapacität des Wassers gröſser ist, als die der Substanzen, die man darin auflöset, wenn man auch die zur Dampfbildung erforderliche Wärmemenge unbeachtet läſst, so geht schon hieraus die Richtigkeit der durch Parrot[3] aufgestellten Behauptung hervor, daſs reines Wasser zum Feuerlöschen geeigneter ist, als die hierzu vorgeschlagenen Mischungen, namentlich die viel besprochene des v. Aken[4]. Auch von einem später pomphaft angekündigten feuerlöschenden Pulver aus 1 Pf. Schwefel, 1 Pf. rothem Ocker und 6 Pf. Eisenvitriol,

1 S. Art. *Feuer* a. a. O.

2 Baumgartner's Zeitschrift. Th. II. S. 379.

3 Voigt's Magazin. Th. II. S. 709. Th. III. S. 383.

4 Ueber den zwischen van Marum und Descroizilles stattgefundenen Streit vergl. Ann. de Chim. T. XLVI. p. 3 ff. T. LI. p. 27. T. LIII. p. 150. Gehlen N. Journ. Th. IV. S. 331. Th. V. S. 127.

welches fein gestofsen in Patronen mittelst Pfeilen an die brennenden Orte geworfen werden sollte, wie ein gewisser G. Palmer[1] in Vorschlag brachte, hat man nie eigentlich Gebrauch gemacht, ebenso wenig als von den in dem Löschwasser aufzulösenden Substanzen, die durch Nils Nyström[2] sehr empfohlen wurden.

156) Die dem Wasser beigemischten Substanzen sollen nicht sowohl dazu dienen, das Feuer auszulöschen, als vielmehr die brennbaren Stoffe mit unverbrennlichen zu vereinigen und dadurch das Entzünden derselben unmöglich zu machen. So sollten auch die durch Palmer angegebenen Substanzen zu diesem Zwecke in Wasser verdünnt und Wände, Balken, Getäfel Holzwerk u. s. w. damit überstrichen werden. Allerdings werden alle leicht verbrennliche Körper sehr wenig entzündlich oder widerstehn der Entzündung vollständig, wenn sie von Salzen und sonstigen geeigneten Substanzen durchdrungen sind. Unter andern hat Fuchs[3] einen namentlich Holz gegen das Verbrennen sichernden Ueberzug angegeben, nämlich ein in siedendem Wasser auflösliches Glas aus 70 Theilen Kieselerde und 30 Th. Kali oder Natron, welches in die Holzfasern dringen und eine oberflächliche Art der Versteinerung hervorbringen soll. Das Mittel scheint ausnehmend geeignet, mir sind jedoch keine damit angestellten Versuche, mindestens keine gröfseren, bekannt; dagegen berichtet Kraft[4] einen sehr gelungenen Versuch, welchen die Petersburger Societät mit einem hölzernen, nach Lord Mahon's und Hartley's Methode feuersicher gemachten Hause angestellt habe, wobei das auf dem Dache und im Innern angebrachte Feuer über eine Stunde brannte, dann von selbst erlosch, dennoch aber waren die Breter und Balken blofs oberflächlich verkohlt. A. Rochon[5] schlug vor, ein mit Thon überzogenes Drahtgeflecht zur Siche-

---

1 Beschreibung eines neu erfundenen Mittels gegen Feuersbrünste u. s. w. A. d. Fr. Leipz. 1803. 8. Vergl. Scherer's Journ. Th. X. S. 445.

2 V. Crell's chem. Ann. 1793. P. II. S. 519.

3 Vergl. über die zweckmäfsigsten Mittel, Feuersbrünste zu vermeiden, nebst Versuchen über einige Substanzen, mittelst welcher leicht verbrennliche Körper gegen die Flamme geschützt werden können. Von D. A. Vogel. München 1823. 8.

4 Acta Acad. Petrop. T. III. P. 2. p. 9.

5 Journal de Physique. T. LXXIII. p. 393.

rung gegen Brand zu benutzen. Gay-Lussac[1] hat die Aufgabe ausführlich untersucht, selbst Leinen und gewebte Zeuge mit solchen Stoffen zu imprägniren, die ihre Biegsamkeit nicht aufheben und dennoch ihre leichte Entzündlichkeit hindern, wozu ihm verschiedene Salze am geeignetsten scheinen, welche im Einzelnen anzugeben hier zu weit führen würde. Endlich möge hier auch gelegentlich die *Steinpappe* erwähnt werden, welche Arfuid Faxe[2] aus Carlscrona im J. 1785 erfunden und ohne Angabe ihrer Bestandtheile bekannt gemacht hat. Sie bestand aus dickeren und dünneren, auch *Steinpapier* genannten, röthlichen Platten, die zu feuerfesten Bedachungen und zugleich als Ueberzüge über Kasten- und Actenschränke dienen sollten. D'Antic untersuchte sie und glaubte, dafs 2 Th. Eisenerde (Eisenoxydhydrat), 1 Th. thierisches Oel und 2 Th. gewöhnliche Pappsubstanz ihre Bestandtheile bildeten. Christie in Bergen machte sie von noch besserer Güte nach[3], auch in Berlin wurden ähnliche Tafeln verfertigt[4]; am ausführlichsten aber liefs Georgi[5] ihre Bestandtheile untersuchen, und verfertigte nach den Resultaten solche Steinpappe aus verschiedenen ähnlichen, ihm vorzüglich geeignet scheinenden Stoffen, unter denen nur eine Zusammensetzung aus erweichten Papierschnitzeln, Leimwasser, rothem oder weifsem Bolus, sogenanntem Todtenkopf und Kreide hier genannt werden möge. Die Tafeln widerstanden sehr gut der Nässe, wurden zwar im Feuer verkohlt, ohne jedoch zu verbrennen, und würden sich wegen ihrer Leichtigkeit sehr gut zur Bedachung eignen, inzwischen steht ihre geringe Härte entgegen, indem nicht eben schwere Steine beim Auffallen sie leicht zerschlagen[6].

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XVIII. p. 211.

2 Lichtenberg's Magazin. Th. IV. Ht. 4. S. 40.

3 Fabri's allgem. polit. Zeitung 1787. N. 8.

4 Wehrs vom Papier. S. 564.

5 Nova Acta Petrop. T. IV. p. 266.

6 Glaser's feuerfester Anstrich aus 3 Th. Lehm, 1 Th. Thon und 1 Th. Mehlkleister (s. nützliche und durch d. Erfahrung bewährte Vorschläge u. s. w. 4. Aufl. Hildburgh. 1777), Lord Mahon's Vorschlag, alles Holzwerk mit einem Mörtel aus Sand, Kalk und zerhacktem Heu zu überziehen, Hartley's Rath, alles Holzwerk durch Eisenblech von einander zu trennen, und andere der Art sind ungeachtet des grofsen, durch sie erregten Aufsehens kaum beachtenswerth. Vergl. Mémoires sur les diverses méthodes inventées jusqu'à présent

157) Beim Verbrennen kommen noch einige speciell zu erörternde Gegenstände in Betrachtung. Zuerst findet das Verbrennen entweder mit oder ohne Flamme statt, und eine nähere Untersuchung der *Flamme* ist daher hier an geeigneter Stelle. Manche Körper erlangen einen sehr hohen Grad des Glühens, verbreiten dadurch ein Licht, wie das Scintilliren der Fixsterne, sprühen auch nicht selten kleine, hellleuchtende Partikelchen umher, z. B. Eisen, Platin und andere strengflüssige Metalle im Knallgasgebläse; allein es darf dennoch nicht gesagt werden, dafs sie mit Flamme verbrennen. Letzteres ist dagegen der Fall bei einfachen und zusammengesetzten Körpern, doch im Allgemeinen mehr bei den zusammengesetzten. So verbrennen Phosphor, Schwefel, einige Metalle, als Zink, Antimon u. s. w., mit Flamme, noch mehr aber und eigentlicher Weingeist, Aether, die ätherischen und fetten Oele, Thierfett, Kampher, Wachs, Pech, die verschiedenen Körper aus dem Pflanzenreiche u. s. w.

Die Alten hielten die Flamme für eine eigenthümliche, aus den Körpern ausgehende Substanz, jedoch ist schon v. Helmont[1], obgleich er das Feuer als ein Mittelding zwischen Körper und Eigenschaft ansieht, geneigt, die Flamme als einen Zustand zu betrachten, in welchen die Theile des brennenden Körpers versetzt werden, und Morgan[2] hält das Licht der Flammen für einen Bestandtheil der verbrennenden Körper und aus ihnen entwickelt. Bei einiger genaueren Untersuchung erkannte man bald, dafs die Flamme durch die Entzündung und das Glühen der in Dampfform aufsteigenden Bestandtheile verbrennlicher Körper entstehe. Hieraus erklärte daher Nollet[3] die kegelförmige Gestalt der Flamme und einige sonstige Eigenthümlichkeiten derselben; indefs konnte weder dieser noch die ihm unmittelbar nachfolgenden Physiker eine genaue Vorstellung von der eigentlichen Wesenheit der Flamme haben, weil ihnen, in der Hypothese von einem vorhandenen Phlogiston befangen, die Kenntnifs des Sauerstoffs fehlte und sie daher namentlich die Nothwendigkeit des Zutritts der äufseren

---

pour garantir les édifices d'incendies par M. l'Abbé Mann. Brux. 1778. Deutsch Frankf. a. M. 1790.

1 Opera omn. Frc. 1707. 4. p. 120.

2 Philos. Trans. T. LXXV. p. 190.

3 Leçons de Physique. T. IV. p. 471.

Luft nicht zu folgern und richtig zu deuten wufsten. Es war daher nur halb richtig, dafs STAHL[1] annahm, jede Flamme enthalte wässerige Theile in Dampfform und ein mit Flamme verbrennender Körper müsse daher Wasser als Bestandtheil haben oder wie Kohle und Zink von aufsen aufnehmen. POTT[2] bestätigte diesen Satz durch Versuche, wonach die Flammen desto breiter und mit einer desto gröfseren Atmosphäre umgeben seyn sollten, je mehr Wässeriges sie enthielten, weswegen KLIPSTEIN[3] die Gebläse der Schmelzöfen durch Zuführung von Wasserdämpfen zu verstärken rieth. Die wunderlichen Meinungen von EULER, LOZERAN DE FIESC und dem COMTE DE CREQUY über die Flamme[4] zu wiederholen ist nicht der Mühe werth, doch kommen alle mit WEIGEL[5] darin überein, dafs die Flamme das eigentliche Feuerwesen selbst sey. Nachdem die Natur der Gase besser erkannt worden war, gelangte man bald zu der Ansicht, die Flamme bestehe, einige beigemischte Theile abgerechnet, aus verbrennendem Wasserstoffgas, das sich mit der sogenannten dephlogistisirten Luft verbinde, wie zuerst AL. VOLTA[6] äufserte, bis die Untersuchungen von CAVENDISH, WATT, LAVOISIER und LAPLACE über die Zusammensetzung des Wassers das Ganze in ein helleres Licht stellten. Dennoch aber brachten SCHEELE[7], RICHARD KIRWAN[8], selbst DE LUC[9] u. A. ihre Ideen über das Phlogiston mit in die Erklärung der Flamme, bis die allgemeiner aufgenommene, insbesondere aber besser erkannte, antiphlogistische Chemie richtige Begriffe über das Wesen der Flammen begründete.

158) Ein verbrennender Körper erzeugt nur dann eine Flamme, wenn glühende Theile von demselben in Dampfgestalt

---

1 GE. ERN. STAHLII Experimenta, observationes et animadverss. CCC. Berol. 1731. 8. §. 81.

2 Lithogeognosie. Berl. 1746. 4.

3 Voigt's Magaz. Th. III. St. 2. S. 169.

4 Recueil des Pièces qui ont remp. le prix cet. 1738—1747.

5 Grundrifs der reinen u. angew. Chemie. §. 315.

6 Lettere sull' aria nativa delle Paludi. Como 1776. 8. Briefe über die natürlich entstehende Sumpfluft. Winterth. 1778. 8.

7 Chemische Abh. von d. Luft und d. Feuer. Ups. u. Leipz. 1778.

8 Experim. and Observ. on the spec. gravities and attractive powers of various salines substances. Lond. 1781. 4. Deutsch von v. CRELL. Berl. u. Stettin 1783. 8.

9 Neue Ideen über die Meteorologie. Th. I. §. 180.

aufsteigen, und die Flamme wird um so viel leuchtender seyn, man kann sagen die *Weiſse der Flamme* (*albedo*) ist um so gröſser, je mehr Theile in ihnen weiſsglühen, ohne Beimischung anderer nicht glühender Theile[1]. Die Flammen verbrennender Metalle sind daher meistens dunkel und nähern sich in ihren oberen Theilen dem Rauche, weil sich die dicht vereinten glühenden Theilchen zu schnell abkühlen. Die zum Leuchten dienenden Flammen sind vorzüglich durch H. Davy[2] untersucht worden. Zu ihrer Erzeugung dienen hauptsächlich organische Körper und sie können demnach als Producte des Verbrennens von Mischungen explodirender Gasarten betrachtet werden. Besteht die Flamme bloſs aus reinen verbrennenden Gasarten, so ist sie wenig leuchtend, wie die Flamme des Wasserstoffgases und des Knallgasgebläses, und diese würde, ungeachtet der unglaublichen, durch sie erzeugten Hitze, fast ganz unsichtbar seyn, wenn man beide Gasarten im ganz reinen Zustande anwendete. Die Helligkeit der Flammen hängt ab von der geeigneten Menge des zuerst abgesetzten und dann verbrennenden Kohlenstoffs, welcher in der, die eigentliche Flamme bildenden Mischung explodirender Gasarten aufsteigt und weiſsglühet. Daher wird die Flamme des Wasserstoffgases und des Weingeists durch einen Zusatz von etwas Terpentinöl nach Hare[3] heller leuchtend, überhaupt aber wird die Helligkeit der Flamme dadurch bedingt, daſs gerade nicht mehr Kohlenstoff vorhanden ist, als welcher durch die explodirende Gasmischung im Zustande des vollkommenen Weiſsglühens erhalten werden kann, ohne daſs zugleich seine Dichtigkeit zu gering sein darf, wodurch zu viele Stellen ungenügend erhellet seyn würden. Die Weiſse und Leuchtkraft der Flammen hängt also vom richtigen Mengungsverhältnisse des feinst vertheilten Kohlenstoffs mit den explodirenden Gasarten ab, was bei der Gasbeleuchtung vorzugsweise in Betrachtung kommt[4]. Eine Kerzenflamme, genau besehen, zeigt die dunkle Stelle, wo der Kohlenstoff ausgeschie-

---

1 Vergl. Péclet Traité de la chaleur. Par. 1828. 2 T. 8. T. I. p. 134.

2 Phil. Trans. 1816. p. 116. 1817. p. 75. Journ. de Phys. T. LXXXIV. p. 148. G. LVI. 141.

3 Silliman Amer. Journ. 1820. Apr. p. 172. Schweigger's Journ. Th. XXX. S. 374.

4 Vergl. *Gasbeleuchtung*. Bd. IV. S. 1082.

den wird, kenntlich durch den Contrast damit, wo er verbrennt. Gegen die Spitze nimmt die Hitze ab, weil dort der Zutritt des Sauerstoffgases, durch die aufsteigende heifse Luft abgehalten, mehr fehlt. Wenn der Docht durch angesammelten Kohlenstoff wächst, so soll er nach Davy die Flamme abkühlen und daher nur zum dunklen Rothglühen kommen. Aus diesen allgemeinen Principien lassen sich leicht die ins Einzelne gehenden Regeln und Bemerkungen ableiten. Unter andern gehört hierhin die Vermehrung der Helligkeit, welche durch geeignete, die Flamme umgebende gläserne Schornsteine erreicht werden kann. Halten diese den freien Zutritt des in der äufseren Luft enthaltenen Sauerstoffgases mehr ab, so brennt die Flamme dunkler, dienen sie aber dazu, den Luftzug in Folge der in ihnen stärker strömenden heifsen Luft zu vermehren, ohne eine zu grofse Abkühlung zu bewirken, so befördern sie sehr den Glanz der Flamme. Man bemerkt daher bei den Liverpool-Lampen, bei denen die Flamme sich um ein rundes horizontales Blech biegt, dafs die ohne den gläsernen Schornstein lange und dunkel brennende Flamme nach dem Aufsetzen dieses Schornsteins sich sofort verkürzt, stark flimmert und mit bedeutend vermehrter Helligkeit brennt. Dahin gehören die Untersuchungen von Holthouse[1] über die geeignetsten Dimensionen und Formen der gläsernen Schornsteine für die verschiedenen Flammen, wie nicht minder John Herschel's[2] Bemerkung, dafs eine gewöhnliche Argand'sche Lampe nur bei einer gewissen Erhebung des Schornsteins die gröfste Helligkeit gewährt, die bei nicht eben bedeutender Vermehrung oder Verminderung merklich abnimmt, und auch eine so eben gemachte sehr interessante und nützliche Erfindung, welche dazu dient, die Leuchtkraft gewöhnlicher Lampen auch bei Anwendung des schlechtesten Oeles bedeutend zu vermehren, und im Wesentlichen auf folgenden Principien beruht. Die Flamme wird in einiger Erhebung mit einem kurzen, stark und fein durchlöcherten, metallenen Rohre umgeben, welches oben durch eine Scheibe verschlossen ist. In der Mitte der letzteren befindet sich ein Loch, welches den oberen Theil der Flamme eben durchläfst und durch diese selbst stark erhitzt wird. Dieses vermehrt

1 London and Edinb. Phil. Mag. N. CVII. p. 40.
2 Ebendaselbst N. CII. p. 194.

nicht blofs den Luftzug im Allgemeinen, sondern insbesondere den der sehr erhitzten, durch die engen Löcher eingedrungenen Luft, befördert daher das Verbrennen und das Weifsglühen des in der Flamme befindlichen Kohlenstoffs, und diese Bedingungen, verstärkt durch einen geeigneten Schornstein, erhöhen die Leuchtkraft bedeutend[1].

Aehnliche Untersuchungen über die Flammen, als H. Davy, hat auch Porret[2] angestellt. Jede Kerzenflamme, am meisten die gröfsten und hellsten, ist mit einer schwach leuchtenden Hülle umgeben, welche wegen des helleren inneren Theiles weniger sichtbar erscheint, sehr leicht aber wahrgenommen wird, wenn man ihr Bild in einem Spiegel betrachtet. Diese Hülle, welche unten am dicksten ist, wird durch die weniger kohlenstoffhaltigen Bestandtheile der aus den verbrennlichen Substanzen durch die Hitze erzeugten Gasarten gebildet. Man sieht dieses deutlich daraus, dafs ein Metallnetz in diesem Theile der Flamme am stärksten glühet und sich ein Ring oder eine Scheibe von Kohlenstoff ansetzt, statt dafs letzterer im hellleuchtenden Theile der Flamme verbrannt wird. Hält man eine Glasröhre von etlichen Zoll Länge, deren innere Weite der des Dochtes ungefähr gleich ist, über den brennenden Docht, so werden die verbrennenden Substanzen in derselben niedergeschlagen und lassen sich an der oberen Mündung entzünden, auswärts aber setzt sich Kohle an. Man ersieht übrigens ohne künstliche Versuche alles das, was die Flamme gewöhnlicher Kerzen betrifft, wenn man sie ausbläst und den aufsteigenden Rauch wahrnimmt, dessen Brennen vorher die Flamme gab. Indem nämlich das durch die Flamme selbst flüssig gemachte, oder an sich flüssige, thierische oder vegetabilische Fett nach den Gesetzen der Capillarität im Dochte aufsteigt, wird es durch die den letzteren umgebende Flamme in Kohlenwasserstoffgas mit einem Ueberschufs von mechanisch

1 Hierher gehören die Untersuchungen von Christison und Turner über die Intensität des Lichtes, welches die verschiedenen Leuchtgase geben, und die Mittel, dieselbe zu vermehren, in Edinburgh Phil. Journ. N. XXV. p. 1, vergl. Art. *Gasbeleuchtung* Bd. IV. S. 1114, und die neueren über denselben Gegenstand von Andrew Fyfe in Edinburgh New Phil. Journ. N. LVIII. p. 214.

2 Annals of Philos. T. IX. p. 337. Bibl. univ. T. V. p. 97.

fortgerissenem Kohlenstoff verwandelt, welches aufsteigt und die Flamme fortdauernd nährt. Ist die Menge des Kohlenstoffes gerade genügend, um fortdauernd im stärksten Weifsglühen erhalten zu werden, so ist die Flamme weifs und hell, ist aber die Menge desselben zu grofs, so wird ein Theil mechanisch fortgerissen und setzt sich als Lampenrufs, Kienrufs, Glanzrufs u. s. w. an kalte Körper an. Wird eine Flamme durch Blasen von kalter Luft ausgelöscht, was durch Abkühlung des brennenden Gases leicht geschehen kann, so lassen sich die aufsteigenden Theile wieder entzünden, wenn man ihnen eine Flamme nähert; ist aber der Docht am oberen Ende stark verkohlt, so bewirkt das Blasen der Luft gegen denselben das Wiederentzünden der Flamme, so dafs man sie abwechselnd durch geeignetes Blasen auslöschen und wieder anfachen kann. Will man eine inflammabele Gasart durch glühendes Metall entzünden, so wird dazu eine grofse Masse desselben erfordert. Nach H. Davy[1] wurde ein Strom des aus Kohlen bereiteten Gases nicht entzündet, als er einen glühenden Eisendraht 0,05 Zoll dick und 8 Zoll lang lothrecht hineinhielt, auch nicht durch einen horizontal gehaltenen 0,17 Zoll dicken Draht; wurden aber 6 Zoll des letzteren lothrecht in eine Flasche mit Kohlengas gehalten, so fand Entzündung statt, indem sich das Gas allmälig und anhaltend erhitzte. Man überzeugt sich von der Anwesenheit des Kohlenstoffs in der Flamme nicht blofs durch das Ausblasen derselben, sondern noch einfacher, wenn man einen blanken Platindraht horizontal in die Flamme hält. Durch Abkühlung setzt sich der Kohlenstoff an den Draht und letzterer wird schwarz; schiebt man ihn aber durch die Flamme, so verbrennt der Kohlenstoff an dem hervorragenden Ende durch den von aufsen zutretenden Sauerstoff, erhält aber der Draht eine gröfsere Hitze, so wird die Gesammtmenge des an ihn abgesetzten Kohlenstoffs verbrannt und der Draht erscheint blank. Libri[2] in seinen gehaltreichen Untersuchungen über die Flamme hat zwar unsere Kenntnifs der Sache nicht wohl eigentlich erweitert, sehr zweckmäfsig ist aber der Vorschlag, zur genaueren Betrachtung derselben ihren Schatten im hellen Sonnenlichte auf einem Blatte weifsen Papiers aufzufangen.

---

1 Philosoph. Trans. 1816. p. 117.
2 Bibliothèque univ. T. XXXIV. p. 173. Poggendorff's Ann. X. 294.

159) In dem hier Mitgetheilten ist wohl genügend vollständig alles dasjenige enthalten, was man über die verschiedenen Flammen zu wissen verlangen möchte, mit Uebergehung der zahlreichen Modificationen, die sich aus den eigenthümlichen Bedingungen leicht erklären lassen. Dahin gehören die Verschiedenheiten der Flammen des Leuchtgases, dessen ganze Masse durch Zutritt des Sauerstoffgases von aufsen verbrennt, des Weingeistes, der Aetherarten und der ätherischen Oele, die keines Dochtes bedürfen und doch verbrennen, des Schwefels, Phosphors, der verschiedenen vegetabilischen Substanzen u. s. w. Inzwischen giebt es noch zahlreiche Untersuchungen über die beim Verbrennen mit Flamme sich zeigenden Eigenthümlichkeiten, die ohne tiefer eingehende Erörterungen wenigstens im Allgemeinen Erwähnung verdienen[1]. Dahin gehören vorzüglich die von Blackadder[2], welche hauptsächlich die ungleiche, vom Blauen zum Gelben übergehende Farbe der Weingeistflamme, so wie auch sonstige bekannte Färbungen der Flammen berücksichtigen. Eine Reihe von Versuchen, welche Davies[3] anstellte, und die ihm zeigten, dafs das Glühen und die dadurch erzeugte Hitze in der äufseren Umgebung einer Kerzenflamme wegen des daselbst statt findenden freiesten Zutritts des Sauerstoffgases am stärksten sey, wurden so verstanden, als ob im Innern der Flamme gar kein Glühen statt finde, was aber nur bei einer solchen der Fall seyn könnte, in deren Inneres wegen übergrofser Dicke gar kein Sauerstoffgas zu dringen vermöchte. Dieses veranlafste eine abermalige interessante Reihe von Untersuchungen, welche Blackadder[4] anstellte, in denen er diejenigen expansibelen Substanzen, welche in der Flamme verbrennen, durch sinnreiche Vorrichtungen vor ihrer Entzündung erhielt, so dafs man auf die angegebene Weise im Stande seyn würde, diese genauer chemisch zu bestimmen, um hieraus die Verschiedenheiten der Flammen sicherer zu erklären. Waldie[5] bestreitet zuerst den Satz, dafs man nicht

1 Unter andern R. Mallet's Versuche in London and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 404, die nur beiläufig hier erwähnt werden mögen.

2 Edinburgh New Phil. Journ. N. I. p. 56.

3 Annals of Philos. N. LX. Dec. 1825. p. 447.

4 Edinburgh New Phil. Journ. N. II. p. 224.

5 London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXX. p. 86. Seine Re-

streng sagen könne, der verbrennliche Körper verbrenne in dem das Verbrennen bedingenden und durch denselben, indem vielmehr beide gleichmäſsig hierbei thätig seyen, was sich jedoch schon von selbst versteht, sobald man das Verbrennen überhaupt als eine chemische Action betrachtet. Diese specielle Rücksicht veranlaſste ihn aber zur Construction eines kleinen Apparates, vermittelst dessen er verschiedene Gasarten in einander verbrennen lieſs und dabei die Formen und Farben der erzeugten Flammen untersuchte. Verbrennt zuerst ein Strom von Leuchtgas in atmosphärischer Luft, so besteht die erzeugte Flamme, wie die einer Kerze, 1) aus einem in der Mitte befindlichen dunklen Theile unzersetzten Gases; 2) aus einem sehr dichten, den dunklen überragenden, sehr leuchtenden und weiſsen Theile, worin der Kohlenstoff weiſs glühet; 3) aus einer blauen, den dunklen Theil einschlieſsenden und in den leuchtenden eintretenden Hülle, welche aus brennendem, aber nicht zersetztem Gase besteht; 4) aus einer Hülle von blauer, ins Röthliche oder Lila spielender Farbe, unten am dünnsten und nach oben an Dicke wachsend, aus der eigentlich verbrennenden Mischung bestehend, worin daher die Hitze, begreiflich am meisten im oberen Theile, am stärksten ist, und 5) aus einer gelblich braunen, dünnen, hauptsächlich den oberen Theil umgebenden Hülle, welche aus unzersetzten Producten der Verbrennung besteht. Die beiden letzteren sieht man am besten bei einer gröſseren Gasflamme wegen der Intensität ihres Verbrennens. Diese Formen ändern sich je nach der Gasart, welche verbrennt, und derjenigen, worin sie verbrennt, wobei hauptsächlich die *Diffusibilität* der Gase bedingend wirkt, welche nach Graham's Untersuchungen den Quadraten ihrer Dichtigkeiten umgekehrt proportional ist. Auch Kemp[1] fand Anstoſs an dem Satze, welcher einen wesentlichen Unterschied zwischen verbrennlichen und das Verbrennen bedingenden Körpern aufstellt, und lieſs daher Sauerstoffgas in Wasserstoffgas verbrennen, wie dieses auch durch Hess[2] mit gleichem Erfolge geschah, welcher zugleich bemerkte, daſs die Flamme des Sauerstoffgases im

---

sultate stimmen im Wesentlichen genau mit denen überein, welche Morgan in seinen bekannten älteren erhielt. S. Philos. Trans. T. LXXV. p. 1.

1 Journal für prakt. Chemie. Th. III. S. 44.

2 Poggendorff's Ann. XLIV. 536.

reinen Wasserstoffgase gröfser ist, als im Kohlenwasserstoffgase, weil nach seiner Ansicht vom ersten Gase mehr als vom letzten zur Neutralisirung des Sauerstoffgases erfordert wird.

160) Die *Farbe der Flammen* sollte eigentlich weifs seyn, denn wenn die Hitze so stark ist, dafs der Lichtäther dadurch in Schwingungen versetzt wird, und wenn sich aufserdem beweisen läfst, dafs die Flamme erst beim starken Glühen der Körper, beim sogenannten Weifsglühen, brennt, so führt dieses auf die Voraussetzung einer weifsen Flamme; es folgt jedoch schon aus dem Vorhergehenden, dafs nicht alle Theile in diesen Zustand des Weifsglühens gesetzt werden, indem namentlich oft beim Brennen harzreicher Hölzer und stark mit Oel oder Fett getränkter Körper dicke Massen nicht glühenden Kohlenstoffs als Rauch aufsteigen, und die weifs leuchtenden Theile der Flammen sind daher fast allezeit mit Partikeln gemengt, welche die Flamme trüben, und mit andern, die ihnen eine eigenthümliche Farbe geben. Die nicht eigentlich gefärbten gewöhnlichen Flammen haben aufser dem weifsen Haupttheile einige mehr farbig spielende Partieen, wie so eben erwähnt wurde, die aber wegen der geringen Intensität dieses Lichtes von keinem merklichen Einflufs sind, sobald nur die Flamme im Ganzen die bereits bezeichnete Weifse hat, die man ihr zu geben sucht, weil sie dadurch zur Beleuchtung am geeignetsten wird. Unter modificirenden Bedingungen treten indefs stärker auffallende Färbungen hervor. So bemerkt Hess[1], dafs Sauerstoffgas im Wasserstoffgas verbrennend eine grüne Farbe giebt, selbst wenn es aus Röhren von Glas oder Platin ausströmt, statt dafs im umgekehrten Falle eine bleiche, etwas gelbliche Flamme zum Vorschein kommt, da doch in beiden Fällen eine weifse und auf jeden Fall eine gleiche Flamme entstehn müfste, weswegen er meint, die Farbe der Flamme hänge von der Atmosphäre ab, worin sie brennt. Inzwischen ist dieses keine Erklärung und die Sache verdient allerdings näher untersucht zu werden. Nach den unverkennbar interessanten Versuchen von Blackadder[2], welcher zur Vermeidung anderweitiger Bedingungen Weingeist und Oel ohne Docht verbrennen liefs, wechseln die Flammen dieser Körper zwi-

1 Poggendorff's Ann. a. a. O.
2 Edinburgh New Philos. Journ. N. I. p. 58.

schen Blau und Gelb, zuweilen mit Weifs, inzwischen läfst sich aus seinen ausführlichen Angaben kein kurzes Resultat entnehmen, aufser etwa, dafs die bei der *monochromatischen Lampe*[1] zum Vorschein kommende gelbe Flamme eine Folge der unvollkommenern Verbrennung seyn soll. Das Licht dieser monochromatischen Lampen ist von geringer Intensität, es verdient daher Beachtung, dafs nach einer Angabe von Talbot[2] sie zu einer auffallenden Helligkeit gesteigert wird, wenn man auf den Docht einer Weingeistlampe ein Stück Kochsalz legt und einen Strom Sauerstoffgas dagegen bläfst. Legt man statt dessen ein Stück Strontiansalz oder Barytsalz auf den Docht, so erhält man die diesen zugehörigen farbigen Flammen von gröfserer Lebhaftigkeit, als durch die sonst üblichen Verfahrungsarten. Uebrigens gehören die Färbungen der Flammen, wie man sie auf Theatern und bei Illuminationen anwendet[3], zu sehr ins Gebiet der Technik, als dafs hier ausführlich darüber zu handeln wäre, weswegen nur einige wenige Angaben genügen werden. Man erhält sie meistens dadurch, dafs Alkohol, worin die färbenden Substanzen aufgelöst sind, verbrannt wird. Salzsaurer Kalk, Baryt oder Strontian geben eine leicht darzustellende, sehr schön rothe Flamme, am besten, wenn man nach Hünefeld[4] Strontianchlorid in Weingeist auflöst und mittelst eines Asbestdochtes oder in einem Platinlöffel erwärmt verbrennt. Eine schöne blaue Flamme erhält man durch das Verbrennen eines Gemenges aus 2 Th. gebranntem Kupfervitriol, 2 Th. weifsem Pech und 1 Th. Salmiak auf glühenden Kohlen oder in einer Weingeistflamme, auch wenn man etwas davon an den Docht einer Kerze bringt; ebenso eine grüne aus 2 Th. Grünspan, 1 Th. Salmiak und 2 Th. Pech[5]. Sonst kann man auch eine grüne Flamme durch Kaliseife und Kupfervitriol erhalten[6], oder noch einfacher mittelst einer Auflösung von salpetersaurem Kupfer in Weingeist, oder aus gleichen Theilen von pulverisirtem salpetersauren Baryt und

---

1 S. Art. *Lampe*. Bd. VI. S. 62.

2 London and Edinb. Phil. Mag. N. XIII. p. 35.

3 Man läfst das Licht sehr häufig durch gefärbte Gläser fallen, was gar nicht hierher gehört.

4 Schweigger's Journ. Th. LX. S. 383.

5 Lichtenberg's verm. Schriften Th. VII. S. 364.

6 Kastner's Archiv Th. X. S. 483.

Kohlen[1]. Nach HERSCHEL[2] wird das Rothfeuer, dessen man sich in den Theatern bedient, durch Verbrennung von salpetersaurem Strontian hervorgebracht.

161) Es dürfte hier der Ort seyn, des *indischen Weifsfeuers* zu gedenken, welches zu nächtlichen Signalen sehr geeignet ist und insofern wissenschaftliche Bedeutsamkeit hat. Die Engländer bedienten sich dessen bei ihren Gradmessungen, theilten es den Franzosen mit, und diese brachten die Bestandtheile durch chemische Analyse heraus[3]. Diese sind hiernach 24 Th. Salpeter, 7 Th. Schwefel und 2 Th. rother Arsenik; sie werden zu einem feinen Pulver gestofsen und genau gemengt in runde Schachteln von der Höhe ihres Halbmessers gepackt. Diese werden mit einem Deckel von Schachtelholz versehn, worin sich ein rundes Loch zum Anzünden befindet; Schachtel und Deckel werden mit Papier verklebt, um das Zerstreuen beim Transporte zu verhüten. Beim Gebrauche öffnet man das Loch im Deckel, um die Masse zu entzünden, schneidet den Deckel rundherum los, damit er leicht wegfliege, und entzündet durch eine gewöhnliche *Zündruthe*, welche von den französischen Artilleristen[4] aus 4 Th. fein gestofsenem, gereinigtem Salpeter, 2 Th. Schiefspulver, 2 Th. Kohlenpulver und 1 Th. Schwefelblumen, wohl pulverisirt, gemengt und durch ein Haarsieb gebeutelt, gemacht werden. Diese Masse befindet sich in papiernen Patronen von der Dicke eines Federkiels, worin dieselbe fest eingestampft wird. Man schneidet die verklebte Spitze mit einer Scheere ab, entzündet mittelst einer Lunte oder Kohle die an einem Stocke befestigte Zündruthe, die dann das Weifsfeuer leicht und schnell in Brand setzt, ohne jemals zu verfehlen, das brennende Ende der Zündruthe mufs aber, um das gänzliche Verzehren zu verhüten, mit einer Scheere abgeschnitten werden. Eine Schachtel mit indischem Weifsfeuer von 6 Z. Durchmesser und 3 Z. Höhe brennt gewöhnlich 3 Minuten und verbreitet ein so helles Licht, dafs

---

1 Edinburgh N. Phil. Journ. N. VI. p. 393.

2 Aus Correspond. math. et phys. T. V. p. 254 in Poggendorff's Ann. XVI. 186.

3 S. v. Zach monatl. Corresp. Th. XV. S. 523. Th. XVI. S. 13. Vergl. allg. geogr. Ephem. Th. III. S. 37.

4 Eine andere Zusammensetzung ist 8 Th. Schwefelblumen, 4 Th. Salpeter und 2 Th. Schiefspulver.

man dasselbe bald nach Sonnenuntergang bis auf 36000 Toisen (über 9 geogr. Meilen) sehn kann.

162) Die noch immer zu keinem endlichen Resultate führenden Untersuchungen über das *griechische Feuer* hier aufzunehmen wäre zweckwidrig; wahrscheinlich war dasselbe eine Art Schiefspulver, woraus man wegen Neuheit der Sache mehr machte, als eine unbefangene Würdigung ergeben konnte[1]. Offenbar enthalten die Nachrichten über die Wirkungen dieses Feuers Uebertreibungen, und da von den dazu verwendeten Substanzen, ja selbst von der äufsern Beschaffenheit der Masse kaum oder gar nicht geredet wird, so bleibt die Sache stets im Gebiete der Vermuthungen, und es ist keine Hoffnung vorhanden, jemals anders, als etwa durch Auffindung einer bis jetzt nicht benutzten historischen Quelle zu einer genauern Kenntnifs hierüber zu gelangen, wie dieses Mac Culloch[2] überzeugend dargethan hat. Nach diesem bestand dasselbe einerseits aus sehr verbrennlichen, vielleicht Naphtha enthaltenden Substanzen, theils aus explodirenden, von denen Salpeter ein Bestandtheil seyn mochte.

163) Demjenigen, was bereits gelegentlich über das *Licht* gesagt worden ist, *welches die mit Flamme verbrennenden Körper erzeugen*, kann hier noch nachträglich Einiges hinzugefügt werden, obgleich diese Aufgabe sich hauptsächlich auf die Construction der zum Erleuchten dienenden Lampen bezieht, worüber bereits in einem eigenen Artikel[3] gehandelt worden ist. Bei dem grofsen Aufschwunge, welchen die technischen Bestrebungen in den neuesten Zeiten erhalten haben, bemächtigen sich die Techniker sofort der durch die Forschungen der Physiker aufgefundenen Resultate, und man lernt daher gegenwärtig nicht selten die praktischen Ausführungen früher kennen,

1 Vergl. Hamburgisches Magaz. Th. XI. S. 347. Th. XII. S. 297. Aretin will ein Recept dazu in einer Handschrift der Münchener Bibliothek gefunden haben. S. Sonnini in Biblioth. phys. écon. ann. 2. T. II. p. 355. ann. 9. T. V. p. 376. Viel ist enthalten in: Liber ignium ad comburendos hostes auctore Marco Graeco, ou Traité de feux propres à détruire les ennemis cet. publié d'après deux manuscrits de la bibliothèque nationale. Par. 1804. 4.

2 New Annals of Philos. T. IV. p. 390. Aus Journ. of the Royal Instit. N. XXVII.

3 S. Art. *Lampe*. Bd. VI. S. 39 ff.

als die wissenschaftlichen Erörterungen allgemeiner bekannt werden. Viel konnte indefs zu dem über diesen Gegenstand bereits Bekannten neuerdings nicht hinzukommen, da diese Aufgabe durch den Grafen Rumford so erschöpfend behandelt worden war. Will man auf ältere Bemühungen zurückgehn, so enthalten Wild's[1] Versuche über die Substanz der Dochte und die Anwendung der verschiedenen Combustibilien zur Beleuchtung einige Belehrungen, denen jedoch genauere photometrische Bestimmungen abgehn. Letzteres ist nicht der Fall bei den bereits erwähnten Versuchen des Grafen Rumford[2], die daher einen vorzüglichen Werth haben und aus denen hervorgeht, dafs die Stärke des Lichts wächst, wenn durch gröfsere Intensität der erzeugten Hitze ein höherer Grad des Weifsglühns des in der Flamme enthaltenen Kohlenstoffs hervorgebracht wird. Hiermit stimmt H. Davy's[3] Ansicht überein, wonach die grofse Helligkeit der Argand'schen und Liverpool-Lampen auf der grofsen Hitze beruht, welche der Flamme derselben eigen ist und den verbrennlichen Substanzen mitgetheilt wird. Hierauf beruhn auch die durch Reid[4] aus seinen Versuchen entnommenen Regeln für die Beschaffenheit der Kerzendochte, wonach sie weder zu dick noch zu dünn seyn dürfen und am besten aus einzelnen neben einander geordneten Strängen bestehn. Hassenfratz[5] mufste im Auftrage der Regierung (im 3ten Jahr d. Republ.) die Intensität des durch verschiedene Körper gegebenen Lichtes und die hieraus folgende sparsamste Methode der Beleuchtung untersuchen. Auch dieser brachte hierbei die Photometrie durch den Schatten in Anwendung, erhielt aber von den durch Rumford gefundenen sehr abweichende Resultate, denen wohl die wenigsten beipflichten dürften; denn nach ihnen wird von weifsen Wachskerzen dreimal so viel verzehrt, als von Rübsamenöl in einer Zugluftlampe verbrennend, um gleiche Mengen Licht zu geben, und doppelt so viel,

---

1 Voigt's Magazin. Th. II. S. 652.

2 Aus Philos. Trans. 1812. in Bibl. Brit. T. LIV. p. 3. Schweigger's Journ. Th. IX. S. 240.

3 Philosoph. Trans. 1817. p. 74. Vergl. oben §. 157 und das daselbst angegebene Mittel zur Verstärkung des Lichtes.

4 Wiener Zeitschrift. Th. IX. S. 230.

5 Ann. de Chim. T. XXIV. Daraus in Scherer's Journ. Th. I. S. 453.

als von Wallrathkerzen. Hiervon sehr abweichende Ergebnisse gehn aus den Versuchen hervor, die von HERMBSTÄDT[1] in Folge höherer Aufforderung mit verschiedenen Arten von Kerzen angestellt wurden, inzwischen sind seine photometrischen Messungen zu wenig sicher, als daſs sich genaue Bestimmungen daraus ableiten lieſsen.

164) Nachträglich zu dem, was in dem genannten Artikel über die Construction der *Lampen* gesagt worden ist, kann hier noch eine ausführliche Abhandlung über diesen Gegenstand von CRIVELLI[2] in Mailand erwähnt werden. Hieraus ersieht man, daſs die durch ROB. BOYLE angegebenen Lampen, bei denen das Niveau durch den Luftdruck stets gleich erhalten wird, schon im Anfange des 17ten Jahrhunderts durch CARDANUS[3] vorgeschlagen, die durch GIRARD verfertigten aber durch CARON[4] nicht unwesentlich verbessert worden seyen. CRIVELLI selbst bringt eine der letztern ähnliche, und zwar verbesserte, in Vorschlag, deren Beschreibung aber für den vorliegenden Zweck zu weitläuftig seyn würde, weswegen ich mich begnüge, auf die Quelle zu verweisen; eine Aufzählung der verschiedenen neuern Verbesserungen der Lampen bezüglich auf ihre Form und ihren Bau wird man aber hier nicht suchen[5]. In wissenschaftlicher Hinsicht wichtig für den Chemiker und in vielen Fällen auch für den Physiker sind die *Weigeistlampen*, deren man sich zum Erhitzen, zum Abdampfen, Verflüchtigen u. s. w. unablässig bedient. Auſser den gewöhnlichen ist vorzüglich die von BERZELIUS empfohlene, mit einem Argand'schen Dochte, der Beachtung am meisten werth; Verbesserungen derselben haben unter Andern HESS[6] und BATKA[7] in Vorschlag gebracht, der Gegenstand fällt indeſs der Chemie in Beziehung

1 Scherer's Journ. Th. IV. S. 40.

2 Jahrbücher des polyt. Instit. in Wien. Th. XIV. S. 1.

3 De subtilitate.

4 Journal de l'Industrie nationale et étrangère 1825. Sept.

5 Vergl. ARAGO und FRESNEL über mehrere parallele Dochte und ihre Anwendung auf Leuchtthürmen in Ann. de Chim. et Phys. T. XVI. p. 379 und GUYTON's Auszug aus Nicholson's Journ. N. 11. über Lampen überhaupt. Ebend. T. XXIV. p. 104.

6 Poggendorff's Ann. XLI. 198.

7 Ebendaselbst XLIII. 183.

auf chemische Geräthschaften anheim. Schliefslich möge aber noch einer Erfindung gedacht werden, die sich auf eine Angabe Blackadder's[1] gründet, dafs man statt eines Dochtes auch ein enges Röhrchen benutzen könne, worin das Oel durch Capillarität aufsteigt und an der obern Spitze entzündet weiter brennt. Wenn man daher ein enges, kaum 0,5 Lin. weites Röhrchen von dünnem Glase oder von Metall durch ein dünnes Blech und dann durch einen Kork steckt, letzteren auf gereinigtem Oele schwimmen läfst und das Oel an der Spitze des Röhrchens entzündet, so brennt es mit einer kleinen, ausnehmend weifsen Flamme, der des Leuchtgases ähnlich, weswegen man eine solche Vorrichtung auch *Gaslampe* genannt hat. Leider steht dem Gebrauche entgegen, dafs das obere Ende des Röhrchens sich durch erhärteten Kohlenstoff verstopft, welcher am Rande und im Innern so fest ansitzt, dafs man ihn nur selten wegnehmen kann, ohne das Röhrchen zu zerbrechen.

Eine sehr wichtige Aufgabe ist die Bestimmung der *Wärmemenge*, welche durch das Verbrennen der verschiedenen Körper erzeugt wird, wobei nur im Vorbeigehn bemerkt werden kann, dafs man sich hierbei zum Messen eigener Apparate bedient, *Calorimeter* genannt[2], und zwar neuerdings in der Regel des Wassercalorimeters, mit denjenigen Abänderungen und Modificationen, welche die jedesmaligen Zwecke erfordern.

165) Soll ein Verbrennen statt finden, so mufs nach dem aufgestellten Begriffe ein *Glühen* vorhanden seyn, welches vom Dunkelrothglühn durch Kirschroth zum Weifsglühn übergeht. Im Allgemeinen ist die vorhandene Hitze der Stärke des Glühns proportional, allein es giebt sehr viele Abweichungen von dieser Regel. Die zunächst liegende Frage, wie grofs die Hitze seyn müsse, um überhaupt das Glühn hervorzubringen, ist noch keineswegs genügend beantwortet worden, auch steht einer bestimmten Entscheidung der Umstand entgegen, dafs dieses bei ungleichen Körpern verschieden ist. Schon Fordyce[3] wollte gefunden haben, dafs wenn Körper ungefähr von 160° bis 200°

---

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. I. p. 52.
2 S. Art. *Calorimeter*. Bd. II. S. 9.
3 Philos. Trans. T. LXVI. p. 504.

C. erhitzt werden, das Glühen beginne, allein der brennende Phosphor habe bei weitem diese Hitze nicht, und Thénard[1] bemerkte bei seinen Versuchen mit dem *Tachopyrion*, dafs Fichtenholz unter atmosphärischem Drucke in Sauerstoffgas blofs gebräunt werde, ohne zu brennen, unter einem Drucke von 2,6 Met. Quecksilberhöhe aber schon bei 252° C. in Brand gerathe. Man setzt den Schmelzpunct des Bleies bei ungefähr 320° C., und da bekanntlich Blei sich in Papier schmelzen läfst, wobei letzteres blofs verkohlt wird, welches Verkohlen desselben gleichfalls eintritt, wenn man es in geschmolzenes Blei unmittelbar vor seinem Gestehn taucht, so ist hieraus zu schliefsen, dafs das Verbrennen des Papiers bei noch höherer Temperatur statt findet. Péclet[2] meint, zur Erzeugung des Lichts beim Verbrennen seyen wenigstens 500° C. erforderlich, allein den sorgsamen Messungen von Pouillet[3] mit seinem Luftpyrometer verdanken wir einige genauere Bestimmungen hierüber. Hiernach ist

| | | | |
|---|---|---|---|
| anfangendes Roth . . | 525° C. | dunkel Orange . . | 1100° C. |
| Dunkelroth . . . . . | 700 — | hell Orange . . . . | 1200 — |
| anf. Kirschroth . . . | 800 — | Weifs . . . . . . . | 1300 — |
| Kirschroth . . . . . | 900 — | hell Weifs . . . . | 1400 — |
| helles Kirschroth . . | 1000 — | blendend Weifs . . | 1500 — |

Hiervon macht jedoch die helle Flamme des Phosphors, welche diese Hitze nicht zu haben scheint, eine Ausnahme, und auch Gasarten können heifser seyn, als selbst zum Weifsglühn erforderlich ist, ohne nur überhaupt zu glühn, denn nach H. Davy[4], welcher die Hitze des glühenden Glases durch die Ausdehnung der Luft gemessen zu 557° C. annimmt, ist ein Luftstrom, in welchem Metalldrähte weifsglühend werden, nicht sichtbar. Auf gleiche Weise ist die Flamme des Knallgasgebläses am Tage kaum sichtbar und würde noch weniger leuchtend seyn, wenn man reine Gase anwendete; dennoch aber ist die dadurch erzeugte Hitze so unermefslich grofs. Wich-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLIV. p. 181.

2 Traité de la chaleur. Par. 1828. T. I. p. 131.

3 Compte rend. 1836. T. II. p. 782. Poggendorff's Ann. XXXIX. 571. Pouillet Élements de Physique. Par. 1837. T. I. p. 238.

4 Philos. Trans. 1817. p. 54 u. 67.

tig in dieser Beziehung sind die Versuche, welche ANDREW FYFE[1] angestellt hat, um die verhältnifsmäfsigen Mengen von Licht und Wärme zu ermitteln, welche durch Leuchtgas erzeugt werden, wenn es aus den verschiedenen in England gebräuchlichen Apparaten ausströmend verbrennt. Die Intensitäten des Lichts zeigten sich hierbei bedeutend verschieden, denn gleiche Mengen verbrannten Gases gaben als einfacher Strom verbrannt 100, mit zwei andern Vorrichtungen 140 und 160, mit einem Glasschornsteine nach Art einer Argand'schen Lampe verbrannt 180, also bedeutend ungleiche Quantitäten Licht. Ganz anders aber verhielt es sich mit der erzeugten Wärme. Um diese zu messen, diente ein sehr einfacher Apparat.
Fig. 44. Ein einfacher hohler Cylinder von Blech B, oben zum Verhüten der Verdampfung mit einem Deckel verschlossen, hatte in seinem Innern einen andern A von etwas geringerm Durchmesser und nicht ganz bis zur Mitte des gröfsern hinaufragend, welcher unten offen und mit der Röhre cc zum Abführen des etwa entstehenden Rauches versehn war. Verbrannte die Flamme im Innern des kleinen Cylinders A, so theilte sie dem im gröfseren befindlichen Wasser die erzeugte Wärme mit. Hierbei zeigte sich, dafs gleiche Mengen verbrannten Gases, obgleich sie zwischen 15 und 40 Minuten Zeit zum Verbrennen bedurften und sehr ungleiche Mengen Licht entwickelten, gleiche Erwärmungen des Wassers erzeugten. Noch auffallender zeigte sich dieses Resultat, als die Argand'sche Lampe, bei welcher das Gas aus 42 kleinen Oeffnungen ausströmte, angewandt wurde. War die Flamme 3 Zoll hoch und nur 4 Minuten brennend, mit einem Glasschornsteine, so erwärmte sie das Wasser um 55° F., und um ebenso viel, wenn sie nur einen Zoll hoch ohne oder mit einem Schornsteine 12 Minuten brannte, ja auch dann, wenn sie kaum sichtbar 30 Minuten zum Verbrennen der gleichen Menge von Gas bedurfte. Hiernach kann man also sagen, dafs die erzeugte Hitze allezeit, ohne Rücksicht auf die Menge des erzeugten Lichtes, der Quantität des verzehrten Gases proportional ist. Es scheint daher eine blofs starren Körpern zukommende Eigenschaft zu seyn, ein ihrer Glühhitze proportionales helleres Licht zu erzeugen, und der theoretisch höchst wichtige, meistens ohne genauere Prüfung

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. LVIII. p. 227.

angenommene Satz, dafs die Intensität der Wärme der Intensität des Lichts stets proportional sey, ist nicht als allgemein gültig zu betrachten.

Ist dagegen der erforderliche, durch die Intensität des Lichts sich ankündigende Grad des Glühns wirklich vorhanden, so können auch andere Körper dadurch zu einer gleichen Glühhitze gebracht werden, wenn sie nicht durch ihre Masse zu sehr abkühlend wirken oder zu viel Wärme erfordern, um selbst glühend zu werden. In einer gewöhnlichen Lichtflamme ist Weifsglühhitze vorhanden, wie man namentlich zuweilen an kleinen, in die äufsern Theile der Flamme sich erstreckenden, glänzend weifsglühenden Theilchen des Dochtes sieht, mithin mufs sie auch dünne Körper zu gleicher Hitze bringen, weswegen nach Parrot[1] feinste Glasfäden in ihr schmelzen, das Gold dünner übergoldeter Silberdrähte verflüchtigt wird und Stahldraht in ihr verbrennt. Hält man das Ende einer Claviersaite No. 12 einen Augenblick in eine Kerzenflamme, so wird es beim Herausziehn unter Funkensprühn verbrennen, ja Tennant[2] verbrannte auf diese Weise sogar feinsten Platindraht, am auffallendsten aber ist die durch die kaum sichtbare Flamme des Knallgasgebläses erzeugte Hitze.

166) Nach dem in Lavoisier's antiphlogistischem Systeme aufgestellten Satze, dafs das Verbrennen auf einer Verbindung des Sauerstoffs mit verbrennlichen Grundlagen beruhe, war man geneigt, den Ursprung der Wärme bei diesem Processe blofs von der Bindung des Sauerstoffgases abzuleiten, die Gröfse der erzeugten Wärme aber der Quantität des verzehrten Sauerstoffgases proportional zu setzen, und Welter[3] behauptet auch, die durch gleiche Mengen Sauerstoffgas erzeugte Wärme sey stets gleich, mit welchem brennbaren Stoffe dasselbe auch verbunden seyn möge; allein dieses stimmt weder mit der Theorie noch der Erfahrung überein. H. Davy[4] erklärt sich hiergegen und behauptet namentlich, unter den Gasarten gebe Wasserstoffgas die gröfste, Kohlenoxydgas dagegen die geringste Hitze. Bei der langsamen Verbindung des Sauerstoffs mit

1 Theoretische Physik. Th. II. S. 95.
2 Philos. Trans. 1816. p. 117.
3 Ann. de Chim. et Phys. T. XIX. p. 415. T. XXVII. p. 223.
4 Philos. Trans. 1817. p. 52. Biblioth. univ. T. IV. p. 153.

Phosphor unter nicht unbedeutender Lichtentbindung ist die erzeugte Wärmemenge sehr gering; ja man hat geglaubt, es werde dadurch gar keine Wärme frei. Letzteres ist inzwischen nicht der Fall, obgleich die geringe Quantität mit gewöhnlichen Thermometern nicht leicht wahrgenommen wird. Nobili und Melloni[1] brachten aber in einem kleinen Reflector ein Stück verleuchtenden Phosphor an, stellten ihn der thermoelektrischen Säule gegenüber und erhielten allerdings Ablenkungen der Magnetnadel, welche Wärmeentbindung anzeigten, obgleich eine weit geringere, als daſs man sie der Menge des verzehrten Sauerstoffgases, wenn man andere Processe damit vergleicht, proportional setzen könnte[2]. Wenn es also kein allgemeines Princip giebt, woraus die Menge der erzeugten Wärme sich entnehmen läſst, oder ein solches bis jetzt wenigstens nicht aufgefunden worden ist, so muſs dieselbe durch Erfahrung gefunden werden. Hierüber besitzen wir eine zahllose Menge Versuche, von denen hier nur einige der wichtigern aufzunehmen sind; allein die verschiedenen Resultate stimmen unter einander nicht vollkommen, mitunter sogar sehr wenig überein, weil die Versuche schwer und mannigfaltig bedingt sind[3]. Die Messungen mit dem Calorimeter gehören zu den sehr schwierigen rücksichtlich der genau zu bestimmenden mittleren Temperatur der gesammten Wassermasse oder der Menge des geschmolzenen Eises, der Einfluſs der Wärmestrahlung von oder nach auſsen ist nicht leicht zu bestimmen, und auſserdem kann die raschere oder langsamere Verbrennung und die vollständige Mittheilung aller dadurch erzeugten Wärme an das Calorimeter nicht unbedeutende Fehler herbeiführen, so daſs aus diesem allen die Verschiedenheit der erhaltenen Resultate leicht erklärbar wird.

167) Wissenschaftlich würde es vom gröſsten Interesse seyn, zuvor die Wärmemenge genau auszumitteln, welche durch die Verbindung des Sauerstoffs mit *einfachen* Körpern erzeugt wird, und dann bei zusammengesetzten Körpern

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198. Poggendorff's Ann. XXVII. 449.

2 Es lieſse sich annehmen, daſs zwar eine gröſsere Menge Wärme erzeugt, aber durch die Expansion des Phosphordampfes wieder gebunden würde.

3 Vergl. Guyton de Morveau in Ann. de Chim. T. XC. p. 127.

durch Berechnung zu prüfen, ob und wie weit die erzeugten Wärmemengen der Summe der durch die einfachen Bestandtheile derselben hervorgerufenen gleich sind. In einigen Fällen ist dieses durch den Grafen RUMFORD, durch PÉCLET und Andere geschehn, keineswegs aber vollständig genug, um zu festen Gesetzen zu gelangen, und überhaupt sind die meisten hierher gehörigen Versuche bloſs zu dem Ende angestellt worden, um auszumitteln, welche Brennstoffe technisch mit dem gröſsten Vortheil verwandt werden. Unter die wichtigsten ältern Versuche dieser Art gehören die von LAVOISIER[1] mit seinem Eiscalorimeter angestellten, um die Heizkraft der in Paris gangbaren Combustibilien auszumitteln, die von HASSENFRATZ[2], wobei er sich gleichfalls des Eiscalorimeters bediente, desgleichen die von CLEMENT und DESORMES[3] über die verhältniſsmäſsige Wärmeproduction durch Verbrennung der Holzkohle, der Steinkohle, des Holzes und Torfs, insbesondere aber die des Grafen RUMFORD[4], wobei er sich des nach ihm benannten Wassercalorimeters bediente. In diesen ist zunächst eine rein wissenschaftliche Tendenz vorherrschend, inzwischen war auch dieser Gelehrte durch die Bemühungen, die Heizapparate in München praktisch zu verbessern, zur nähern Untersuchung dieses Problems veranlaſst worden, weswegen sich dann aus seinen Versuchen zugleich die ungleichen Wärmemengen ergeben, die man durch das Verbrennen verschiedener Combustibilien zu erhalten vermag[5]. Unter die ältesten, aber stets noch der Beachtung werthen Versuche, die eben daher gewöhnlich neben denen von LAVOISIER und RUMFORD genannt zu werden pflegen, gehören die von CRAWFORD[6], ungleich vorzüglicher sind die von DALTON[7], welcher sich dabei eines Wassercalorimeters be-

---

1 Histoire de l'Acad. 1781. p. 379.

2 Ann. de Chimie T. XXIV. p. 78.

3 Recherches physico-chimiques de MM. GAY-LUSSAC et THÉNARD. T. II. p. 344.

4 Aus Nicholson's Journ. 1812. Juni in G. XLIV. 1. XLV. 28 u. 306.

5 Experimental Essays political, economical and philosophical. Ess. VI. G. III. 309. IV. 85. 222. 330.

6 On animal heat and combustion. Second ed. Lond. 1788.

7 Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. D. Ueb. Berl. 1812. Th. I. S. 87.

diente, dessen Inhalt genau 30000 Grän Wasser betrug, die Menge der verbrennenden Gase aber, die in einer Blase mit einem Hahn befindlich waren, wurde so gewählt, dafs das Volumen derselben unter atmosphärischem Drucke so grofs war, als das von 30000 Grän Wasser; die sonstigen Substanzen verbrannten in einer Lampe so, dafs die Spitze der Flamme genau den Boden des Calorimeters berührte. Bei allen Verbrennungen diente die Temperaturerhöhung des Wassers als vergleichbares Mafs. Eine von dieser fast allgemein in Anwendung gebrachten abweichende Methode wählte Marcus Bull[1], um die verhältnifsmäfsige Heizkraft der in America gebräuchlichen Brennmaterialien, namentlich der verschiedenen Holzarten, zu messen. In einem gut verschlossenen gröfsern Zimmer erbauete er ein kleineres blofs aus Holz, als schlecht wärmeleitender Substanz, setzte ein kleines Oefchen hinein, worin die Stoffe möglichst gleichmäfsig verbrannten, sorgte dafür, dafs der Raum beim Durchgange durch ein sehr langes, im Innern des kleinern Zimmers herumgeführtes Rohr sich gehörig abkühlte, und mafs die erzeugte Wärme vermittelst mehrerer Thermometer.

168) Die Vergleichung der erhaltenen Resultate läfst sich auf zweierlei Weise anstellen, entweder indem man die Menge des zum Verbrennen erforderlichen Sauerstoffgases als Einheit annimmt und die durch die Verbindung mit derselben erzeugte Wärme der verschiedenen Combustibilien bestimmt, oder wenn man das Gewicht der letztern als Einheit betrachtet und ohne Rücksicht auf die Menge des verzehrten Sauerstoffgases die erzeugte Wärme mifst. Die Bestimmungen nach der erstern Methode sind wichtig zur Entscheidung der Frage, ob die erzeugte Hitze der Quantität des verzehrten Sauerstoffgases allezeit proportional ist, nach der zweiten aber haben sie ein mehr ökonomisches Interesse, sofern beim gewöhnlichen Verbrennen die atmosphärische Luft das erforderliche Sauerstoffgas ohne Aufwand von selbst hergiebt und es sich daher blofs um die

---

1 Aus Transactions of the Phil. Soc. at Philadelphia T. III. p. 1 in Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. XXVI. ann. 1827. Daraus in Jahrbücher des Wiener polyt. Instituts. Th. XVI. S. 344 u. Péclet Traité de la Chaleur. T. I. p. 144. Aus Trans. of the Amer. Phil. Soc. New Ser. 1826. in Dingler's polyt. Journ. Th. XXIV. S. 251. 336.

Menge des erforderlichen Brennstoffs handelt. Nach der letztern Methode hat PÉCLET[1] eine Zusammenstellung gegeben, die ich hier mit einigen Zusätzen mittheile, und zugleich bemerke, dafs die Zahlengröfsen der erzeugten Hitze nur einen relativen, zur Vergleichung dienenden Werth haben, die brennbaren Substanzen aber, so wie das verzehrte Sauerstoffgas, in Gewichten ausgedrückt sind.

| Brennstoffe | verzehrtes Oxygen | erzeugte Hitze | Beobachter |
|---|---|---|---|
| ganz trocknes Holz . . . . . | 1,377 | 3500 | RUMFORD |
| mitteltr. Holz (25 Proc. Wasser) | 1,033 | 2600 | RUMFORD |
| Holzkohlen . . . . . . . . . . | 2,655 | 7300 | LAVOISIER |
| mittelfette Steinkohlen . . . . | 2,234 | 6000 | CLEMENT |
| Coks . . . . . . . . . . . . . | 2,655 | 6500 | MARCUS BULL |
| guter Torf . . . . . . . . . . | . . . | 3000 | CLEMENT |
| Torfkohlen . . . . . . . . . . | . . . | 6400 | PÉCLET |
| Hydrogen . . . . . . . . . . . | 8,038 | 23400 | LAVOISIER |
| — — . . . . . . . . . . . |  | 22125 | CLEMENT |
| — — . . . . . . . . . . . |  | 23640 | DESPRETZ |
| Kohlenwasserstoff . . . . . . | 3,923 | 6375 | DALTON |
| ölerzeugendes Gas . . . . . . | 3,370 | 6600 | DALTON |
| Kohlenoxydgas . . . . . . . . | 0,572 | 1857 | DALTON |
| Olivenöl . . . . . . . . . . . | 3,020 | 9044 | RUMFORD |
| — — . . . . . . . . . . . |  | 11196 | LAVOISIER |
| gereinigtes Rübsöl . . . . . . | . . . | 9307 | RUMFORD |
| Schwefeläther . . . . . . . . | 2,520 | 8030 | RUMFORD |
| Alkohol . . . . . . . . . . . | 2,470 | 6195 | RUMFORD |
| Spiritus (Weingeist gew.) . . | . . . | 5261 | RUMFORD |
| Unschlitt . . . . . . . . . . | 3,109 | 8639 | RUMFORD |
| — — . . . . . . . . . . . |  | 7186 | LAVOISIER |
| weifses Wachs . . . . . . . . | 3,129 | 9479 | RUMFORD |
| — — . . . . . . . . . . . |  | 10500 | LAVOISIER |
| Naphtha (spec. Gew. 0,827) . | 3,228 | 7338 | RUMFORD |
| Phosphor . . . . . . . . . . . | 1,380 | 7500 | LAVOISIER |
| Terpentinöl . . . . . . . . . . | 3,228 | 4500 | DALTON |
| Schwefel . . . . . . . . . . . | 1,005 | 1462 | DALTON |
| Steinöl . . . . . . . . . . . . | 1,180 | 9475 | RUMFORD |

Aus diesen Bestimmungen liefse sich leicht finden, wie grofs die relative Wärmemenge ist, welche durch die Verbindung gleicher Theile Sauerstoff mit den verschiedenen brenn-

1 Traité de la Chaleur. T. I. p. 220.

baren Substanzen erzeugt wird, wenn anders jene so genau wären, dafs es sich der Mühe lohnte, diese Berechnung anzustellen, um ein allgemeines Gesetz darauf zu gründen, nicht zu gedenken, dafs die durch die verschiedenen Gelehrten gefundenen Resultate merklich von einander abweichen. Beispielsweise mögen nur einige dieser Angaben hier angeführt werden[1]. Nach DESPRETZ verhält sich die durch gleiche Mengen Sauerstoff mit Wasserstoff und Kohle erzeugte Wärme wie 1:1,012, nach DALTON die durch 1 Th. Sauerstoff mit ölerzeugendem Gas, mit Kohlenwasserstoffgas, mit Kohlenoxydgas und mit Phosphor erzeugte Wärme wie 1:0,819:1,695:1,852. H. DAVY[2] fand beiläufig, dafs bei gleichen Theilen Sauerstoffgas die Wärmemenge mit Kohlenoxydgas = 1, mit hydrothionsaurem Gas = 1,12, mit ölerzeugendem Gas = 1,6, mit Wasserstoffgas = 4,3 ist. Nach einer spätern Versuchsreihe von DESPRETZ[3], wovon jedoch nur einige Notizen bekannt geworden sind, entwickelt 1 Gramm Sauerstoff mit Wasserstoff 2578°, mit Kohlenstoff 2967°, mit Eisen 5325° C. Wärme, und dem Eisen kommen Phosphor, Zink und Zinn sehr nahe[4].

169) Wir besitzen aus der neuesten Zeit eine Arbeit, welche leider nicht vollendet worden ist, denn sonst würde sie vermuthlich alle diesen Gegenstand betreffende Fragen erledigt haben; der für die Wissenschaft zu früh verstorbene DULONG hatte sie begonnen, es sind aber nur einzelne von ihm gefundene Resultate aus seinen Papieren zu unserer Kenntnifs gelangt[5]. Das von ihm gebrauchte *Calorimeter*[6] war dem Wesen nach ein Wassercalorimeter und bestand aus einem rechteckigen kupfernen Kasten, 10 Cent. lang, 7,5 Cent. breit und

1 Vergl. L. GMELIN Handbuch der Chemie. Th. I. S. 149. Edinburgh Journ. of Science. N. XVII. p. 161.

2 Schweigger's Journ. Th. XX. S. 12.

3 Ann. Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 180. Poggendorff's Ann. XII. 519.

4 Für technische und ökonomische Benutzung des Brennmaterials ist belehrend: BUCHANAN practical and descriptive Essays cet. Glasgow 1810. Ein Auszug in Bibl. Brit. T. XLVI. p. 105.

5 Aus compte rend. T. VII. p. 871 in Poggendorff's Ann. XLV. 461.

6 Die Beschreibung ist etwas undeutlich, doch läfst sich das Wesentliche der Construction daraus entnehmen.

25 Cent. tief. Die zu verbrennenden Substanzen wurden in diesen geleitet durch zwei Röhren, deren eine parallel an der Wand herabgehend etwas über dem Boden einmündete, die andere, zuerst vertical herabgehend, dann unter dem Boden hinlaufend, mündete vertical aufsteigend in demselben, und beider Oeffnungen hatte man mit Dillen versehn. Waren die hierdurch herbeigeführten Substanzen verbrannt, so entwichen die dadurch erzeugten gasigen Producte und die erhitzte Luft aus dem Kasten durch einen rechteckigen Canal von 5 Cent. Weite, dessen Mündung etwas über dem Boden in der dem Eintritt der zum Verbrennen bestimmten Substanzen gegenüber liegenden Wand befindlich war. Dieser Canal, in fast horizontaler Richtung sieben- bis achtmal hin und her gebogen, ging dann fast senkrecht herab und stieg demnächst wieder herauf, um in zwei cylindrischen Dillen zu endigen, deren eine, in der Axe des Rohrs befindlich, das Thermometer aufnahm, um die Temperatur des Gases zu messen, welches durch die andere Dille in ein Gasometer geführt wurde. Durch ein mittelst einer Glasscheibe bedecktes, in einer der Ecken aufgelöthetes Rohr lassen sich die Erscheinungen des Verbrennens beobachten. Ein horizontales, auf der Ebene der Zuleitungsröhren befindliches Rohr sollte wahrscheinlich zur Verbrennung von Flüssigkeiten dienen. Der obere Rand des Kastens war mit einer Rinne versehn, in welche die Ränder eines kupfernen Deckels gesenkt und durch Quecksilber abgesperrt wurden; dieser Deckel aber trug ein zwei Cent. weites kupfernes Rohr. Der ganze Kasten nebst Zubehör, mit Ausnahme der Dillen, ward in einen andern mit Wasser gefüllten Kasten von 11 Liter Rauminhalt eingeschlossen und zur Messung der Temperatur des stets umgerührten Wassers dienten zwei Thermometer. Beim Experimentiren verbrannten die Gase an den Spitzen der Zuleitungsröhren, die Flüssigkeiten mittelst Baumwollenfäden in einem sie enthaltenden Röhrchen, das Eisen wurde als spiralförmiger Draht verbrannt, die übrigen Metalle in Pulverform in einer Kapsel von Kupfer oder Platin, und sie waren mit einer indifferenten Masse gemengt, wenn man ihr Zusammenballen fürchtete; die Entzündung geschah durch etwas Schwamm, die Kohlencylinder mit scharf zulaufender Spitze wurden in Kohlenpulver stark geglüht, nach langsamem Erkalten brauchte man nur ihre Spitze in einer Weingeistflamme

glühend zu machen, worauf sie in Sauerstoffgas weiter brannten. Vor allen Dingen benutzte Dulong die durch Rumford angegebene Vorsicht, den Apparat vor dem Anfange des Versuches ebenso weit unter die Temperatur der Umgebung abzukühlen, als seine Wärme beim Ende desselben mehr betrug, und die Zeitdauer bis zur Erreichung des Mittels und die nach dem Eintritt desselben einander möglichst gleich zu machen.

Als allgemeine Resultate, welche Dulong aus den bekannt gewordenen und den vielleicht noch in seinen Papieren verborgenen Versuchen entnommen hat, werden folgende angegeben: 1) die entwickelten Wärmemengen sind für gleiche Substanzen fast gleich bei verschiedenen Temperaturen.

2) Gleiche Volumina von allen Gasen entwickeln bei ihrer Verbindung mit Sauerstoff gleiche Wärmemengen.

3) Auf eine gleiche Sauerstoffmenge entwickelt sich eine gleiche Wärmemenge, es mag sich eine Verbindung wie $R + O$ oder $R + 2\,O$ bilden.

4) Bei den starren Substanzen sind die entwickelten Wärmemengen sehr ungleich.

Der erste dieser Sätze ist sehr wichtig und es läſst sich gegen denselben, so wie gegen den vierten nicht wohl etwas einwenden; der zweite und dritte, wenn man den letzteren genau nimmt, scheinen mir unter sich im Widerspruche zu stehn, stimmen aber auch mit den von Dulong selbst angegebenen einzelnen Resultaten nicht überein. Hierbei wird als Wärmeeinheit diejenige angenommen, welche 1 Gramm flüssigen Wassers bei mittlerer Temperatur um 1° C. zu erwärmen vermag; die Dichtigkeit der Gase ist auf 0° Temperatur und 0,76 Met. Barometerstand reducirt. Die folgende Tabelle enthält die mittleren Resultate aus mehrern Versuchen, und zwar zuerst die Wärmemengen, welche ein bestimmtes Maſs der brennbaren Substanz durch Aufnahme des erforderlichen Sauerstoffs entwickelt, und dann diejenige, die durch Verbindung von einem bestimmten Maſse Sauerstoff mit dieser Substanz erregt wird.

| Ein Liter | Wärme | Ein Liter | Wärme |
|---|---|---|---|
| Wasserstoff . . . . . | 3106,64 | Sauerstoff . . . . . . | 6207,28 |
| Sumpfluft . . . . . . | 9587,67 | Sauerstoff . . . . . . | 4695,32 |
| Kohlenoxydgas . . . | 3130,33 | – – – – – | . . . . |
| ölbildendes Gas . . . | 15338,0 | – – – – – | . . . . |
| Alkoholdampf . . . . | 14380,5 | – – – – – | . . . . |
| Terpentinöldampf . . | 70607,0 | – – – – – | . . . . |
| Schwefelätherdampf | 33350,5 | – – – – – | . . . . |
| Cyan . . . . . . . . . | 12270,3 | – – – – – | . . . . |
| 1 Gramm Schwefel . . | . . . . | – – – – – | 2601,16 |

Mit einem Liter Sauerstoff gab die zur Sättigung erforderliche Menge folgende Wärmequantitäten:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Eisen . . . . . | 6216,5 | Antimon . . . | 5365,8 |
| Zinn . . . . . | 6508,6 | Zink . . . . . | 7576,6 |
| Zinnoxydul . . | 6405,6 | Kobalt . . . . | 5721,0 |
| Kupfer[1] . . . | 3531,3 | Nickel . . . . | 5333,0 |
| Kupferoxydul | 3130,0 | | |

Dulong scheint vermuthet zu haben, daſs zwischen den *specifischen Wärmen* der Stoffe und der durch gleiche, beim Verbrennen absorbirte Sauerstoffmengen erzeugten Wärme ein einfaches Verhältniſs obwalte.

170) Schlieſslich muſs hier noch eine Behauptung erwähnt werden, welche Dr. Thomas Mac Keever[2] auf eine Reihe von ihm angestellter Versuche gründet. Hiernach soll der Verbrennungsproceſs im Lichte rascher erfolgen, als im Schatten,

1 Beim Kupfer und Antimon wird die Sauerstoffmenge nach Maſs und Gewicht angegeben; da ich mir aber nicht vorzustellen vermag, wie *ein Liter* Sauerstoff nach Maſs und Gewicht verschieden seyn kann, so vermuthe ich, daſs das, was *nach Maſs* heiſst, die unmittelbar gemessene Gröſse, *nach Gewicht* aber die corrigirte bezeichnet, denn für die Bestimmung des Sauerstoffgases wird 0° C. Temperatur und 0,76 Met. Barometerhöhe angenommen, wonach also das Resultat der Messung corrigirt werden muſste. Die von mir aufgenommenen Gröſsen sind daher die nach Gewicht mit Benutzung der höcht wahrscheinlichen, durch Poggendorff angegebenen Verbesserung.

2 Ann. of Phil. N. S. T. X. p. 344. Daraus in Poggendorff's Ann. IX. 509.

und die Ursache dieses Einflusses in der desoxydirenden Wirkung der Sonnenstrahlen liegen. Diese letztere Vermuthung baut er auf eine Versuchsreihe, wonach gleiche Mengen gleicher Kerzen unter übrigens gleichen Bedingungen in den violetten Strahlen in kürzerer Zeit verzehrt wurden, als in den rothen und gelben. Die Thatsache hat etwas sehr Auffallendes; denn statt der sehr entfernt liegenden Erklärung, dafs durch die desoxydirende Wirkung der Sonnenstrahlen der Verbrennungsprocefs als eine Art Oxydation merklich gehindert werden könne, sollte man vermuthen, dafs umgekehrt das Verbrennen im Sonnenlichte rascher erfolgen müsse, da nach allen Erfahrungen die Wärme den Verbrennungsprocefs bedeutend befördert und auch in den vorliegenden Versuchen die Temperatur in den Sonnenstrahlen merklich höher war, als im Schatten. Inzwischen gesteht Keever selbst, dafs er auf seine Versuche nicht die nöthige genaue Sorgfalt verwandt habe, wodurch die Resultate den erforderlichen Grad der Zuverlässigkeit erhalten haben könnten, und wir müssen also mit Poggendorff die mitgetheilten Thatsachen für nicht genügend erachten, um eine physikalische Wahrheit darauf zu gründen, um so mehr, als weder der erste Experimentator noch auch irgend ein anderer Physiker seitdem diesen Gegenstand weiter geprüft hat.

171) Wenn es sich darum handelt, die Erscheinungen des Verbrennens mit den allgemeinen Gesetzen der Wärmelehre in Einklang zu bringen, so lassen sich die hierüber aufgestellten Hypothesen unter vier Classen ordnen. Nach Berzelius [1] sind im Allgemeinen alle Wärmephänomene zugleich auch elektrische, sofern durch Verbindung beider Elektricitäten Wärme erzeugt wird, wonach dann die durch das Verbrennen zum Vorschein kommende nichts anderes als das Resultat der Vereinigung der Elektricitäten zweier Körper seyn kann, deren einer negativ, der andere positiv elektrisch ist. Diese Erklärung mufs mit der ganzen Hypothese, wonach die Wärme überhaupt nichts anderes als eine Verbindung beider Elektricitäten ist, stehn oder fallen, und da sie später in diesem Abschnitte (§. 218) zur Untersuchung kommen wird, so ist es am besten hierauf zu verweisen [2]. Nach einer zweiten Hy-

1 Versuch über die chemischen Proportionen. S. 79.

2 Die sogenannte elektrische Hypothese ist in dieser Gestalt klar

pothese, die man dem Wesen nach als von Lavoisier stammend betrachten könnte, giebt der Sauerstoff oder eigentlicher das Sauerstoffgas die Wärme her, welche beim Verbrennen zum Vorschein kommt, während der verbrennende Körper sich neutral verhält. Es würde ungerecht seyn, durch strenges Festhalten am Worte diese Ansicht dadurch zu widerlegen, dafs der Sauerstoff, wie oben (§. 135) gezeigt wurde, nicht nothwendige Bedingung des Brennens im weitern Sinne des Wortes ist, denn man könnte hierauf erwidern, dafs namentlich das Chlor die Stelle des Sauerstoffs vertrete, obgleich, wenn man auch dieses zugeben wollte, die Erklärung mancher der genannten Phänomene nicht ohne vielfache gezwungene Hypothesen statt finden könnte; allein es müfste doch auf jeden Fall, die Sache mit der unerläfslichen Strenge genommen, bei den gewöhnlichen Verbrennungen die erzeugte Hitze den Quantitäten des absorbirten Sauerstoffs direct proportional seyn, was sicher der Erfahrung widerstreitet. Hiermit innig zusammenhängend ist diejenige Hypothese, welche sich nicht blofs auf die Verbrennungen speciell, sondern auf alle zu dieser Classe gehörigen Wärmeerzeugungen durch Chemismus erstreckt, wonach die Quelle dieser Wärme in einer Verdichtung der verbundenen Substanzen liegen soll. Hiernach würde diese Art der Wärmeproduction mit der durch Compression erzeugten zusammenfallen. Liefse sich dieses durchführen, so fände es schon eine bedeutende Stütze in der Vereinfachung des Erklärungsprincips, welches gleichzeitig auf mehrere Classen von Phänomenen der Wärmeerzeugung anwendbar wäre, und es ist daher von grofser Wichtigkeit, zur sichern Entscheidung der Frage zu gelangen, ob bei allen mit Wärmeerzeugung verbundenen Processen chemischer Verbindungen zugleich eine Volumensverminderung statt findet. Es ist indefs vielseitig, am gründlichsten durch Berzelius[1], gezeigt worden, dafs dieses nicht statt findet, und dafs demnach weder Lavoisier's, noch die letztere, etwas modificirte Hypothese mit anerkannten unzweideu-

---

und bestimmt. Weniger läfst sich dieses sagen von einer durch Dulong und Petit geäufserten Meinung, wonach Wärme überall so erzeugt werden soll, als beim Glühn der Kohlenspitzen durch den elektr. Strom in mephitischen Gasarten ohne chemische Veränderung nach H. Davy's Versuchen. S. Ann. Chim. et Phys. T. X. p. 412.

1 Lehrbuch der Chemie. Th. III. S. 49.

tigen Thatsachen bestehn kann, obgleich Duflos[1] sich grofse Mühe gegeben hat, jene Theorie aufrecht zu halten, wobei man jedoch das Gezwungene seiner Erklärungen keinen Augenblick verkennen kann. Als auffallendes Beispiel kann erwähnt werden, dafs beim Verbrennen von Kohle in Sauerstoffgas das Volumen des letztern nicht vermehrt und dennoch eine so enorme Hitze erzeugt wird. Allerdings ist das Product, die Kohlensäure, dichter, als das verzehrte Sauerstoffgas, aber nur im Verhältnifs von 1,3716:1, und eine Zusammendrückung um nicht völlig 0,38 müfste daher eine gleiche Hitze erzeugen, als das Verbrennen der Kohle, was gegen alle Erfahrung streitet. Wenn sich Schwefel und Kupfer verbinden, so geschieht dieses mit Ausscheidung von Licht und Wärme, es findet ein eigentlicher Verbrennungsprocefs statt; dennoch aber ist das spec. Gewicht des Schwefelkupfers geringer, als das mittlere der vereinten Körper, und die Quelle der Wärme kann daher in einer Verdichtung nicht liegen, weswegen Berzelius[2] zur elektrischen Hypothese seine Zuflucht nahm, sofern der sehr positiv elektrische Schwefel mit dem sehr negativen Kupfer in Verbindung kommt. Beispiele dieser Art, welche zeigen, dafs die Quelle der durch Chemismus erzeugten Wärme nicht in der gleichzeitig statt findenden Verdichtung liegen könne, liefsen sich noch mehrere aufzählen, allein es mufs hierbei noch eine andere Bedingung berücksichtigt werden. Nach einer vierten Hypothese nämlich wird durch jede chemische Verbindung, und also auch die im Verbrennungsprocesse statt findende, ein neuer Körper erzeugt. Soll hierbei gar keine Wärme frei werden, so müfste die specifische Wärme des neuen Körpers dem Mittel der specifischen Wärme beider vereinter Körper gleich seyn, im entgegengesetzten Falle aber entweder Wärme frei oder gebunden werden. Dieses vorausgesetzt wird also angenommen, dafs beide durch Verbrennen vereinte Körper so viel von ihrem Wärmestoffe hergeben, als erforderlich ist, den neugebildeten auf die bei der Vereinigung beider Stoffe vorhandene Temperatur zu bringen, und dafs der Ueberschufs als freie Wärme entweichen mufs.

172) Diese letztere Hypothese ist unter der Voraussetzung

---

1 Kastner's Archiv. Th. XVII. S. 336.

2 G. XXXVII. 279.

des Vorhandenseyns eines materiellen Wärmestoffes so natürlich, so nahe bei der Sache liegend, man dürfte sagen so nothwendig bedingt, daſs sie nicht wohl anders als durch ganz entscheidende Gegengründe aufgegeben werden kann, und dennoch stehn ihr solche in dieser ihrer einfachen, nicht modificirten Gestalt allerdings entgegen. Es wäre ein Leichtes zu untersuchen, ob die specifische Wärme der durch Verbrennen unter Ausscheidung von Licht und Wärme erzeugten Producte um so viel geringer ist, als die mittlere der vereinten Körper, um hieraus die Menge der entwickelten Wärme zu erklären; allein man muſs hierbei wohl berücksichtigen, daſs die verbrennenden Körper mehrere Stadien eines wechselnden Aggregatzustandes durchlaufen, ehe sie bleibend in die neue Form versetzt werden. Vorzugsweise hat Prechtl[1] scharfsinnig nachgewiesen, daſs die beim Verbrennen des Wasserstoffs und der Kohle durch den Sauerstoff gegebene Wärme allerdings hinreiche, um die bei diesem Processe frei werdende Hitze zu erklären, was zwar zunächst zur Unterstützung der dritten Hypothese dienen würde, füglich aber erst hier zur Erörterung kommen kann, weil sich bald zeigen wird, daſs die verbrennenden Substanzen zugehörige Wärme, genau genommen, nicht vernachlässigt werden darf.

173) Zuvörderst bemerkt Prechtl, daſs die Gröſsenbestimmungen der specifischen Wärme zwar angeben, wie viel Wärme erforderlich ist, um gleiche Gewichte der Körper auf dieselbe Temperatur zu bringen, zugleich aber keine Kenntniſs der absoluten Wärmemengen der Gasarten gewähren, welche letztere sich vielmehr aus der durch Compression entwickelten Wärme finden läſst. Atmosphärische Luft entwickelt nach Versuchen von Prechtl selbst bei fünffacher Verdichtung 290° C., während Wasserdampf, um aus dem tropfbaren Zustand in Dampfform überzugehn, nur 550° C. Wärme bedarf und also, insofern er hierdurch eine 1700fache Ausdehnung erhält, auch umgekehrt durch eine gleiche Zusammendrückung nur 550° Wärme entwickeln kann. Wenn dann die für Luft gefundene Wärmeentwickelung durch Compression auch für Sauerstoffgas gilt, so würde in Gemäſsheit dessen, daſs 290° einer fünffachen

---

1 Jahrbücher des polytechnischen Instituts in Wien. Th. XIV. S. 156.

Compression zugehören, eine Wärmeentbindung von 550° C. eine 9,46fache Zusammendrückung erfordern. Die Gröfsen dieser für gleiche Wärmeentbindung erforderlichen Zusammendrückungen geben aber das umgekehrte Verhältnifs der absoluten vorhandenen Wärmemengen, und es ist also die Wärme, welche bei der Verbrennung des Wasserstoffgases im Sauerstoffgas durch den gebildeten Wasserdampf absorbirt wird, $= \frac{9,46}{1700}$ oder nahe $\frac{1}{180}$ derjenigen Wärme, die aus dem Sauerstoffgas durch Verdichtung in der chemischen Verbindung entwickelt worden ist. Zu einem ähnlichen Resultate führt das Verbrennen der Kohle. Nach früheren Versuchen von PRECHTL[1] enthalten 288,5 Kubikfufs Wasserdampf ebenso viel Wärme, als 473 Kubikfufs kohlensaures Gas. Da aber durch Verbrennung von 1 Kubikfufs Sauerstoffgas mit Wasserstoffgas 2 Kubikfufs Wasserdampf gebildet werden, so entsprechen $\frac{473 \times 2}{288,5} = 3,28$ Kubikfufs kohlensaures Gas den 2 Kubikfufs Wasserdampf, und da durch Verbrennung der Kohle in 1 Kubikfufs Sauerstoffgas 1 Kubikfufs kohlensaures Gas entsteht, so enthalten 3,28 Kubikf. dieses Gases ebenfalls nur $\frac{1}{180}$ des aus 1 Kubikfufs Sauerstoffgas durch Verbrennung entbundenen Wärmestoffes, oder die Wärme, welche durch Verbrennung der Kohle in Sauerstoffgas durch Bildung des kohlensauren Gases latent wird, beträgt nur $\frac{1}{180 \times 3,28} = \frac{1}{590}$ oder nahe nur den 600sten Theil der überhaupt erzeugten, wonach also die gleichzeitig zum Vorschein kommende Hitze leicht erklärbar wird.

174) Dieser sehr scharfsinnigen Deduction kann man die gebührende Anerkennung nicht versagen, dennoch aber lassen sich durch allseitige Beleuchtung der Thatsachen mehrere Zweifel dagegen nicht verkennen, die zuletzt in eine förmliche Widerlegung übergehn dürften. Zuvörderst darf nicht übersehn werden, dafs der Satz: die Wärmeentbindung durch Compression ist der Zusammendrückung direct proportional, theoretisch nicht wohl genügend begründet erscheint, in der Erfahrung aber eine bestimmte Widerlegung findet. Denken wir uns ein gewisses Luftvolumen, zum bessern Anhalten eine Kugel aus

---

1 Jahrbücher des k. k. polyt. Instituts. Th. IX. S. 112.

einer beliebigen Menge Kugelschichten von gleichem Inhalte bestehend, und setzen wir die absoluten Wärmemengen jeder einzelnen $= s, s', s'', s''' \ldots . s^{n-1}$, die Summe der gesammten Wärmemenge aber $= S$, so würde der Satz, dafs nach der Zusammendrückung der ganzen Kugel um die Gröfse einer Kugelschicht die entbundene Wärme $= s$ und nach abermaliger Zusammendrückung $= s'$, also im ersten Falle der bleibende Rest der Wärme $S_{,} = S - s$ und im zweiten $S_{,,} = S - (s + s')$ wäre, nur in dem Falle theoretisch begründet seyn, wenn die Kugelschichten s und s′ ganz weggenommen würden, und man ihren dadurch frei werdenden Wärmestoff quantitativ unverändert zu erhalten vermöchte; da aber die Theile der ersten, dann die der zweiten u. s. w. in die übrigen hineingeprefst werden, wodurch deren Dichtigkeit und Wärmecapacität geändert wird, so mufs $S_{,} = S - s \pm x$ und $S_{,,} = S - (s + s') \pm x'$ seyn, je nachdem der Rest der Kugelschichten durch die Verdichtung Wärme abgiebt oder verschluckt. Hiernach kann also s nicht wohl $= s'$ seyn, weil durch Hineindrücken der einen Kugelschicht in die andern die Dichtigkeit und somit zugleich der Erfahrung nach deren relative Wärmecapacität sich ändert[1].

175) Wird das Gewicht der aufgestellten Beweisgründe durch diese Argumentation mindestens geschwächt, so geschieht dieses noch mehr durch folgende Betrachtung. Wenn Wasserdampf eine 1700fache Verdichtung erleidet, so entsteht tropfbar flüssiges Wasser, und es werden 550° C. Wärme ausgeschieden. Dafs hieraus nicht mit Sicherheit zu schliefsen sey, es werde durch 5fache Verdichtung $\frac{5}{1700} . 550^{\circ}$ C. ausgeschieden, haben wir so eben gesehn. Aber wenn man dieses auch zugeben wollte, so würde daraus noch keineswegs folgen, dafs die hierdurch erhaltene geringe Wärme das vollständige Erzeugnifs der blofsen Compression sey, da vielmehr Wasser gebildet wird, welches einen grofsen Theil der erzeugten Wärme aufnehmen und nur einen geringen Theil übrig lassen würde. Die Zusammendrückung des gesättigten Wasserdampfes läfst sich daher mit der der Gasarten nicht unbedingt ver-

1 Vergl. relative Wärme.

gleichen, noch weniger aber kann aus der Wärme, welche erfordert wird, um das schon vorhandene Wasser in Dampf zu verwandeln, unbedingt auf die durch Compression des Dampfes frei werdende in der Art geschlossen werden, daſs man letztere mit der durch Compression der Gase entbundenen vergleichen könnte, denn beim Wasserdampfe findet ein Punct der gröſsten Dichtigkeit statt, welcher bei den Gasen fehlt, und wenn Dämpfe vom Puncte dieser gröſsten Dichtigkeit an durch Wärme ausgedehnt werden, so muſs für gleiche Ausdehnungen bei ihnen mehr Wärme erforderlich seyn, als bei den Gasarten, weil die specifische Wärme des Wasserdampfes gröſser ist, als die irgend einer Gasart. Hieraus würde aber folgen, daſs durch Compression des über den Punct seiner gröſsten Dichtigkeit durch Wärme ausgedehnten Wasserdampfes bis zu einem den Punct der gröſsten Dichtigkeit nicht erreichenden Grade mehr Wärme, als aus gleich stark verdichteten Gasarten ausgeschieden werde. Ein Versuch dieser Art würde schwer seyn, wäre aber allein geeignet, um eine genügende Vergleichung zu geben.

176) Ohne jedoch die Entscheidung auf diesem Wege abzuwarten, läſst sich durch eine andere Betrachtung die Unzulässigkeit der Hypothese leicht anschaulich machen, und nebenbei paſst diese Argumentation auf beide vorliegende Beispiele. Prechtl nimmt an, die exorbitante Hitze der Verbrennung sey das Resultat einer gänzlichen Verdichtung des Sauerstoffgases, indem er die Wärme des erzeugten Wasserdampfes den 180sten und der gebildeten Kohlensäure den 600sten Theil der durch Verdichtung des Sauerstoffgases erzeugten Hitze nennt; allein dann müſste diese Verdichtung nothwendig auch wirklich vorhanden seyn. Setzen wir aber[1] im Mittel nach Biot und Arago, nach Berzelius und Dulong die Dichtigkeit des Sauerstoffgases = 1,10319, die des Wasserstoffgases nach eben diesen Autoritäten = 0,07101, die der atmosphärischen Luft = 1 angenommen, so ist die mittlere Dichtigkeit eines Gemenges aus 2 Volumen Wasserstoffgas und 1 Volumen Sauerstoffgas = 0,41506, die Dichtigkeit des erzeugten Wasserdampfes aber nach meinen eigenen Versuchen am höchsten = 0,63619, und die Verdichtung ist daher nur eine 0,53-

1 Vergl. *Gewicht, specif.* Bd. IV. S. 1506.

fache, durch welche nicht mehr als 30° C. Wärme erzeugt werden könnte, wenn eine 5fache 290° C. giebt, vorausgesetzt, daſs durch Verdichtung des Wasserstoffgases gleich viel Wärme, als durch die des Sauerstoffgases frei würde, was sich mit Grund bezweifeln läſst. Ein ebenso ungünstiges Resultat giebt das Verbrennen der Kohle in Sauerstoffgas. Da aus 1 Volumen Sauerstoff durch Aufnahme des Kohlenstoffes ein Volumen Kohlensäure erzeugt wird und beider Dichtigkeiten sich verhalten wie 1,10319 : 1,52181, so entsteht durch das Verbrennen nur eine 0,38fache Verdichtung, wodurch also nur 22° C. Wärme frei werden könnten. Berzelius[1] bezweifelt daher mit vollem Rechte, daſs eine so geringe Verdichtung den Grund der auſserordentlichen erzeugten Hitze abgeben könnte.

177) Die einfache Würdigung offen vorliegender Thatsachen führt uns indeſs zu einem unwiderleglichen Argumente, woraus die Unzulässigkeit der bisherigen Hypothesen zur Evidenz hervorgeht und welches uns zugleich nöthigt, die Sache aus einem veränderten Gesichtspuncte zu betrachten. Sollen die Verbrennungsprocesse vollständig erklärt werden, so sind vor allen die, viele derselben begleitenden, *Explosionen* wohl zu berücksichtigen. Wird eine Stahlfeder in Sauerstoffgas verbrannt, so entwickelt sich zwar eine unglaubliche Hitze, so wie durch ein Essenfeuer; entweicht der Dampf aus gröſseren Maschinen, so ist dieses mit einer auſserordentlichen Ausdehnung verbunden, allein es fehlt das Wesentliche der Explosionen, welches darin besteht, daſs plötzlich eine nicht wohl anders als durch gröſste Hitze erzeugte Ausdehnung eintritt, die aber ebenso schnell wieder schwindet, so daſs die Luft in den erzeugten leeren Raum mit Heftigkeit eindringt und dadurch das eigenthümliche platzende Getöse hervorruft. Um einen festeren Anhaltpunct zu haben, dürfen wir nur ein allseitig bekanntes Phänomen, das Verpuffen des Knallgases, in nähere Betrachtung ziehen, welches ohnehin schon vielfach dazu gedient hat, die gangbaren Theorieen des Verbrennens anzufechten. Bei der Verpuffung des Knallgases verbindet sich dem Gewichte nach 1 ℔. Wasserstoffgas mit 8 ℔. Sauerstoffgas und bildet Wasser. Setzen wir die specifische Wärme des letzteren = 1, die des Wasserstoffgases = 3,2936 und die des Sauer-

1 Jahresbericht. 1831. S. 60.

stoffgases = 0,2361, so ist die mittlere specifische Wärme des Erzeugnisses

$$\frac{3{,}2936 + 8 \times 0{,}2361}{9} = 0{,}5758.$$

Waren also die Temperaturen der Gase anfänglich = 100° C., so müfste die des entstandenen Wassers = 57°,58 werden, also eine Temperaturverminderung von 42°,42 C. erfolgen, statt dafs die Erfahrung eine bedeutende Wärmezunahme giebt[1]. Die Einwendung, dafs kein eigentliches Wasser, sondern nur Wasserdampf gebildet werde, hilft nicht genügend, denn die specifische Wärme des Wasserdampfes ist 0,8470 und es müfste daher unter den angegebenen Bedingungen doch immer noch eine Temperaturverminderung von 27°,12 C. eintreten. Es findet zwar allerdings eine Verdichtung statt, wie so eben gezeigt wurde, allein diese ist so gering, dafs daraus keine Quelle der enormen erzeugten Hitze abgeleitet werden kann. Wie grofs die bei dieser Verbrennung erzeugte Hitze eigentlich sey, ist zwar schwer zu messen, allein auf jeden Fall müssen wir sie als sehr grofs annehmen, da sich Glühhitze vorhanden zeigt und der blendend weifsen Glühhitze am Tage nach Pouillet 1500° C. zugehören (§. 165). Wollen wir aus Rücksicht auf die enormen Wirkungen des Knallgasgebläses die durch dessen Verbrennung bewirkte doppelt so grofs, also zu 3000° C. annehmen, so würde es unmöglich seyn, den Ursprung einer solchen Hitze aus irgend einer quantitativen Anhäufung der gegebenen Wärme abzuleiten. H. Davy[2] schlägt indefs sehr sinnreich vor, die durch Verbrennung der Gase erzeugte Wärme aus der Expansion zu bestimmen. Wenn Cyanogen und Sauerstoffgas im Verhältnifs von 1 und 2 in einer Glasröhre verpuffen, so dehnen sie sich um das 15fache ihres anfänglichen Volumens aus, wonach er annimmt, dafs zu dieser Ausdehnung eine Temperaturerhöhung von 5000° F. = 2778° C. erfordert werde. Wollen wir diese nur näherungsweise angegebene Gröfse genauer bestimmen, so giebt, das ursprüngliche Volumen abgezogen,

---

1 Vergl. Scholz Physik. 2. Aufl. S. 284. L. Gmelin Handbuch d. Chemie Th. I. S. 150 setzt hinzu, dafs sich die Verbindungen des Zinks, Bleis und Kupfers mit Sauerstoff und ohne Zweifel noch viele andere ebenso verhalten.

2 Philos. Trans. 1817. p. 67.

$$\frac{14}{0,00375} = 3733° \text{ C.}$$

die im Momente des Verbrennens statt findende Wärme, die beim Verpuffen des Knallgases noch gröſser seyn müſste.

178) Diese Betrachtungen beziehen sich indeſs bloſs auf den Proceſs des Verbrennens, die Erscheinungen des Explodirens sind aber hiervon noch wesentlich verschieden. Die entwickelte Hitze erzeugt eine unglaubliche Expansion, allein diese ist nur momentan vorhanden; es tritt sofort ein leerer Raum ein, den die zurückgedrängte, dadurch verdichtete und mit vermehrter Heftigkeit zurückströmende Luft wieder einnimmt, worauf der entstehende heftige Knall beruht. Daſs sich dieses wirklich so verhalte, zeigt die Erfahrung; denn man hat elektrische Pistolen, welche im Augenblicke nach der Explosion verschlossen werden und daher nicht knallen. Soll daher das Phänomen der Verpuffung vollständig erklärt werden, so darf die Frage, wo der erzeugte Wärmestoff bleibe, und wie er so augenblicklich wieder verschwinden könne, um diese Erscheinung hervorzubringen, dabei nicht übersehen werden. Wollte man daher, um dieses genauer zu analysiren, die durch Verpuffung des Knallgases entstehende Wärme aus der gröſseren Dichtigkeit des gebildeten Wasserdampfes, verglichen mit der des Gasgemenges, ableiten, so müſste Wasserdampf von dieser Dichtigkeit wirklich vorhanden seyn und der Ueberschuſs der Wärme könnte dann genau nur ausreichen, um den Dampf bis zur ursprünglichen geringeren Dichtigkeit des Gasgemenges auszudehnen; statt dessen aber findet eine momentan vorübergehende so enorme Ausdehnung statt, wie sie nur durch eine Temperaturerhöhung um mehrere Tausende von Graden bewirkt werden kann, und verschwindet ebenso schnell wieder, ohne daſs sich ihr Entstehen und ihr Verschwinden aus den gewöhnlichen Gesetzen ableiten läſst. Bei diesen Explosionen fällt auch das Argument weg, welches in vielen Fällen gebraucht wird, nämlich daſs die sogenannte Expansionswärme, wodurch die Gasarten ihre bedeutende Ausdehnung erhalten, bei ihrer Verdichtung zum Vorschein komme, denn bei den Detonationen, z. B. des Schieſspulvers, der Knallsalze u. s. w., findet vielmehr eine bedeutende Expansion statt und ist zugleich von einer unermeſslichen Wärmeentbindung begleitet.

179) Nach der oben aufgestellten, für alle Wärmephäno-

mene als zureichend angegebenen Hypothese müssen sich auch diese Resultate erklären lassen. Wenn wir annehmen, dafs die Atome der Körper durch den Conflict zweier Kräfte, der Anziehung und Abstofsung, im stabilen Gleichgewichte gehalten werden, und wenn wir zugleich die Wärme für diese repulsive Kraft selbst oder ihren Träger halten, so mufs nothwendig dieses Gleichgewicht durch jede chemische Wirkung gestört werden und somit zugleich ein verändertes Verhältnifs der Thätigkeiten beider Kräfte statt finden. Denken wir uns also, um in einem gegebenen Falle einen besseren Anhaltpunct zu haben, die Molecüle der beiden Gasarten im Gemenge des Knallgases einzeln bestehend als Kügelchen des Sauerstoff- und Wasserstoffradicals mit Wärmesphären so umgeben, dafs der Attractionskraft ungeachtet durch überwiegende Stärke der Abstofsungskraft (Wärme) Repulsion statt findet; es erhalte dann ferner durch mechanischen Druck oder Glühhitze die Attractionskraft zwischen den Atomen des Sauerstoffs und Wasserstoffs ein solches Uebergewicht, dafs diese mit einander eine neue Verbindung eingehen, so mufs nothwendig durch die überwiegende Thätigkeit der Attraction dieser Atome gegen einander ihre Attraction gegen die umgebenden Wärmesphären geschwächt, vielleicht gar = 0 werden und dieser Moment ist dann derjenige, in welchem die frei gewordene Wärme die neu gebildeten Molecüle gewaltsam aus einander treibt. In einem gleichfalls verschwindend kleinen Zeitmomente tritt aber die Attractionskraft der neuen Molecüle gegen die frei gewordene Wärme wieder in Thätigkeit, die Wärme wird abermals gebunden, und zwar im Verhältnifs der specifischen Capacitäten der ursprünglichen und des neu entstandenen Körpers, es wird das stabile Gleichgewicht wieder hergestellt, und es kann ebenso gut ein Ueberschufs als ein Mangel an Wärme erfolgen, wobei dann zugleich zu berücksichtigen ist, dafs die an die Umgebungen übergegangene Wärme von diesen nicht so schnell wieder hergegeben wird. Eine absolute Verminderung der Wärme entsteht höchst wahrscheinlich bei der Verpuffung des Knallgases, weswegen die erzeugten Wasserdämpfe nicht in der theoretisch vorauszusetzenden Expansion vorhanden sind, sondern nach einer weit stärkeren Expansion gleichsam verschwunden der atmosphärischen Luft den Eintritt in den leeren Raum gestatten. Es liefsen sich diese, auf alle Verbrennungsprocesse

anwendbaren Sätze beim Knallgase durch allerdings schwierige, aber dennoch gewifs nicht unmögliche Versuche sogar auf experimentalem Wege prüfen.

180) Zwei bei diesen Betrachtungen sich nothwendig aufdringende Fragen lassen sich ohne Schwierigkeit so beantworten, dafs man aus ihnen nicht wohl Argumente gegen die aufgestellten Sätze hernehmen kann. Zuerst begreift man zwar sofort, dafs eine Entzündung des Knallgases durch Compression eingeleitet werde, sofern die Molecüle der Gase dadurch einander näher kommen und ihre Anziehung das Uebergewicht erhält; dagegen aber könnte man fragen, wie diese Wirkung auch durch Wärme möglich werde, die im Gegentheil die Molecüle weiter von einander zu entfernen diene. Die Antwort liegt sehr nahe bei der Sache. Allerdings wird die Repulsion der Molecüle durch Wärme vermehrt, allein ihre chemische Anziehung wird dadurch zugleich in einem so überwiegenden Grade gesteigert, dafs sie mit gänzlicher Ueberwindung der vermehrten Repulsion sich dennoch mit einander verbinden. Hiermit stimmt die Erfahrung vollkommen überein, denn geringe Hitze dehnt das Knallgas aus, stark gesteigerte leitet die Vereinigung zu Wasser ein (§. 148), eigentliche Glühhitze bewirkt eine momentane Verbindung. Wie stark die Wärme in dieser Beziehung wirke, zeigt unter andern der Diamant, welcher genügend erhitzt im Sauerstoffgas weiter brennt, das weifsglühende Eisen, welches im Luftstrome verbrennt und sogar dem Kali seinen Sauerstoff entreifst, anderer zahlloser Beispiele nicht zu gedenken. Die Beantwortung einer zweiten Frage, welche Prechtl[1] keineswegs übersehen hat, nämlich wie es zugehe, dafs bei chemischen Verbindungen unter Ausscheidung von Wärme Vergröfserung des Volumens eintrete, da doch die Trennung bestehender Verbindungen und die Bildung neuer eine in letzteren vorhandene stärkere Anziehungskraft voraussetze, ist gleichfalls nicht schwierig. Zuerst leidet diese Argumentation auf verschiedene chemische Verbindungen, namentlich das Verbrennen des Knallgases, des Kohlendampfes im Sauerstoffgas u. s. w. keine Anwendung, weil hierbei keine bestehenden Verbindungen getrennt werden; allein wenn Letzteres auch statt findet, so müssen allerdings die Mo-

1 A. o. a. O.

lecüle in der neuen Verbindung einander näher seyn, weil die Attractionskraft (die chemische Verwandtschaft als mechanisch wirkend gedacht) zwischen ihnen gröfser ist; jedoch folgt hieraus keineswegs, dafs die neu gebildeten Partikelchen, die Verbindungen der einfachen Molecüle zu zusammengesetzten, einander näher liegen müssen, und daher kann allerdings der aus der neuen Verbindung hervorgegangene Körper ein gröfseres Volumen erhalten. Im Allgemeinen ist übrigens Letzteres der theoretischen Argumentation allerdings zuwider, und wirklich findet es auch bei den einfachsten Verbindungen nicht statt, indem z. B. die Dichtigkeit des Wasserdampfes gröfser ist, als die mittlere der constituirenden Gasarten, und die Dichtigkeit der Kohlensäure gröfser, als die des Sauerstoffgases, andere Beispiele nicht zu erwähnen.

### 4) Wärmeerzeugung durch den Lebensprocefs der Vegetabilien und Animalien.

181) Die Processe des Lebens und Wachsens, so wie der Veränderungen der Vegetabilien und Animalien, gehören ihrem Wesen nach zu den chemischen, obgleich sie durch eine eigenthümliche Kraft, die wir *Lebenskraft* nennen, ohne sie genauer zu bestimmen, bedingt sind; denn im Ganzen kommen sie auf Verbindungen und Trennungen einfacher und zusammengesetzter Körperelemente oder Partikelchen zurück, und sofern chemische Processe so häufig, wenn nicht vielmehr allgemein, mit Erzeugung von Wärme verbunden sind, bieten sich Gründe dar, auch bei diesen chemischen Actionen im Allgemeinen Wärmeerzeugung zu vermuthen, wenn gleich andere bedingende Umstände die erzeugte Wärme wieder binden und daher ihr mefsbares Hervorkommen aufheben können. Hinsichtlich der Thiere stimmt diese Theorie mit der Erfahrung vollkommen überein, ja in einem wahrhaft überraschenden Grade, sofern man die animalische Wärmeerzeugung einen Verbrennungsprocefs nennen könnte, weil Sauerstoffgas absorbirt wird, nicht zu gedenken, dafs die erzeugte Wärmemenge der Quantität des gebundenen Sauerstoffgases und der Leichtigkeit seiner Aufnahme im Ganzen proportional ist; bei den Vegetabilien gab die Erfahrung sehr abweichende Resultate, was aus theoretischen Gründen schon zu ahnen war, weil im unverkennbaren Gegensatze der

animalische Lebensprocefs Bindung des Sauerstoffgases fordert, während im Gegentheil die Pflanzen dieses Gas aushauchen.

182) a) Den *Vegetabilien* legten schon Aristoteles[1], Theophrast[2], Cicero[3] und Plinius[4] eine eigenthümliche innere Wärme bei, Baco[5] dagegen sprach sie ihnen ab. Ueber die vorausgehende Hauptfrage, ob die Vegetabilien, gleich den unorganischen Körpern, stets die Temperatur ihrer Umgebung annehmen, kann nicht wohl ein Streit obwalten. Täglichen Erfahrungen nach findet man saftreiche und kühle Pflanzen an heifsen Planken und Mauern, woraus jedoch nicht folgt, dafs sie die Wärme durch ihren Organismus binden, weil sie erstlich stark ausdünsten und hierdurch viel Wärme verlieren, und zweitens weil ihre feinen Wurzelfasern beträchtlich tief in den feuchten, kühlen Boden gesenkt sind, aus welchem sie den kühleren Saft um so viel begieriger aufnehmen, je stärker ihre Verdunstung ist. Ebenso bekannt ist die Erfahrung, dafs die Säfte in lebenden Pflanzen weniger leicht gefrieren, als Wasser, dafs lebende Pflanzentheile der Kälte länger und sicherer widerstehn, als abgeschnittene; auch sieht man sie oft ungefroren in gefrorener Erde stehen. Hierauf läfst sich aber erwidern, dafs der Gefrierpunct der Pflanzensäfte noch nicht genau ermittelt worden ist, wahrscheinlich aber etwa einen Grad oder mitunter sogar einige Grade tiefer liegt, als der des Wassers, vorzüglich weil sie sich nach einem weisen Naturgesetze im Herbste zu verdicken pflegen[6]. Aufserdem aber läfst sich dieses aus dem Aufsteigen des wärmeren Saftes herleiten, welches im Winter nicht aufhört, da einzelne in ein Treibhaus gezogene Pflanzentheile, ungeachtet der Erstarrung der äufsern, zu grünen fortfahren.

183) Aufser diesen allgemeinen Erfahrungen haben mehrere Physiker die Frage über eine eigenthümliche Wärmeerzeugung der Pflanzen durch umfassende Versuche zu beantworten

---

1 In dem ihm zugeschriebenen Werke de plantis. L. I. cap. 2.
2 Opera ed. J. G. Schneider Saxo. T. II. L. V. c. 13.
3 De nat. Deor. L. II. c. 9.
4 Hist. Nat. L. XVI. c. 76.
5 Nov. Organon. aph. 12.
6 Vergl. Strömer in Schwed. Abhandl. 1739 u. 40. S. 116. Senebier Physiol. végét. T. III. p. 316. Journ. de Phys. T. XL. p. 173.

gesucht. Nach den früheren Untersuchungen von J. HUNTER[1] und J. D. SCHÖPF[2], die für eine eigenthümliche Wärme der Vegetabilien sprachen, schienen die weitumfassenden von HERMBSTÄDT[3] im Garten zu Harpke bei Helmstädt angestellten, so wie die von SALOMÉ[4] und SLEVOGT[5] die Sache aufser Zweifel zu setzen. Die in die Bäume eingesenkten Thermometer blieben nach fortgesetzten, übereinstimmenden Beobachtungen bei der Hitze stets hinter der äufseren Temperatur zurück und übertrafen dieselbe im Winter bei der Kälte, woraus man mit Sicherheit auf eine Bindung und Entbindung der Wärme schliefsen wollte[6]. Diese Ansicht suchte NAU[7] durch Entkräftung der Gründe, so wie durch eine grofse Reihe neuer Versuche zu widerlegen, indem er die Abweichungen der Temperatur der Vegetabilien von der der Umgebung als eine Folge des stets aufsteigenden Saftes betrachtete, welcher im Winter aus der wärmeren Erde aufsteigend die Temperatur auf gleiche Weise zu erhöhen, als im Sommer aus dem kälteren Boden kommend sie zu vermindern vermöge. Für diese letztere Ansicht erklärte sich unter Andern auch TREVIRANUS[8], statt dafs RUDOLPHI[9] geneigt ist, den Pflanzen eine eigene Wärmeproductionskraft beizulegen. Um den unbestimmbaren Einflufs der Erdwärme auszuschliefsen, brachte FONTANA[10] in einer ausnehmend zahlreichen Reihe von Versuchen die in Töpfen befindlichen Pflanzen in einen Keller, und fand vermittelst eines feinen Thermometers ihre Temperatur der äufseren vollkommen gleich. Hierbei mufs jedoch wohl berücksichtigt werden, dafs die Pflanzen sich dabei in einem ihrer Natur nicht angemessenen Zustande befanden, woraus eine Beschränkung

1 Philos. Trans. 1778. P. I. p. 7. Journ. de Phys. T. IX. p. 294.

2 Der Naturforscher. St. XXIII. S. 1.

3 Magazin d. Ges. naturf. Freunde. Jahrg. II. S. 316. Ann. de Chim. T. XL. p. 113.

4 DE LA METHERIE Considérations sur les êtres organisés. T. II. p. 296. HERMBSTÄDT's Archiv der Agriculturchemie. Th. II. S. 154.

5 Hermbstädt's Bulletin. Th. III. S. 46.

6 Ann. de Chim. T. XL. p. 113. Journ. de Phys. T. LXX. p. 22.

7 Schriften der Wetterauer Gesellschaft. Th. I. Abth. I. S. 27. Journ. de Phys. T. LXXII. p. 193.

8 Biologie. Th. V. S. 14.

9 Physiologie. Th. I. S. 168.

10 Harles u. Ritter Neues Jahrb. der ausländ. med. chir. Lit. Th. V. St. 2. Aus Efemeridi chemico-mediche. 1805.

ihrer natürlichen Lebensfunctionen erwachsen konnte. Inzwischen wurde dieser Frage nochmals eine sehr ausführliche Untersuchung durch Franz von Paula Schrank[1] zu Theil, welcher die Gründe für und wider prüfte, zugleich aber eine Menge eigener Beobachtungen, insbesondere über Pflanzen, zusammenstellte, die sich unter dem Schnee ungefroren erhalten und nicht selten, wie namentlich die Brunnenkresse, durch Erwärmung kleine Gewölbe um sich her bilden, oder im Wasser stehend beim Gefrieren desselben den sie umgebenden Theil flüssig erhalten. In Gemäfsheit dessen entschied er dafür, dafs allerdings in den Pflanzen eine eigene Wärmequelle zu finden sey.

184) Bei dieser Lage der Sachen war es verdienstlich, dafs Schübler[2] die Widersprüche in den bis dahin erhaltenen Resultaten durch abermalige genaue Versuche zu beseitigen suchte, wozu ihn insbesondere der Umstand vermochte, dafs nach früheren, an einem Kastanienbaume zu Genf gemachten Beobachtungen die mittlere Temperatur desselben, wie ein in ihn eingesenktes Thermometer sie gegeben hatte, für ein ganzes Jahr sogar etwas geringer war, als die der umgebenden Luft[3]. In die Bäume, sowohl der Nadelhölzer als auch der Laubhölzer, wurden an der Nordseite Thermometer bis in das Centrum eingesenkt, zu verschiedenen Tagszeiten beobachtet und mit correspondirenden, in freier Luft hängenden verglichen. Hieraus ergab sich, dafs die Bäume in allen Jahreszeiten bei Sonnenaufgang eine höhere Wärme zeigen, als ihre Umgebung[4], um Mittag aber findet das Gegentheil statt; überhaupt aber zeigen die Bäume nicht auf gleiche Weise, als die Luft, die täglichen Schwankungen, und zwar um so weniger, je tiefer und je näher den Wurzeln die Thermometer eingesenkt sind, oder je schneller und stärker die täglichen Wechsel erfolgen; im Ganzen fallen die Temperaturen beider zweimal täg-

1 Münchener Denkschriften. Th. II. Jahr 1809 u. 10. Vergl. Gött. gel. Anz. 1813. St. 123.

2 Beobachtungen über d. Temperatur der Vegetabilien u. s. w. von F. G. Schübler u. F. A. Haller. Tüb. 1826. Auch in Poggendorff's Ann. X. 581.

3 Aus Bibl. Brit. T. I. in Schweigger's Journ. Th. II. S. 189. Landwirthschaftl. Blätter von Hofwyl. Aarau 1817. Ht. V. S. 5.

4 Dieses ist ohne Zweifel eine Folge davon, dafs dann gerade die Temperatur der Luft sinkt.

lich zusammen und sind einander im ganzen Jahre gleich, bis auf einen unbedeutenden, 0°,1 bis 0°,4 C. betragenden Unterschied, welcher, wie es scheint, als Folge von Beobachtungsfehlern oder von Zufälligkeiten zu betrachten ist. Hieraus ergiebt sich also evident, dafs den Vegetabilien eine eigenthümliche Kraft der Erzeugung und Bindung der Wärme abzusprechen und die Abweichung ihrer Temperatur von der sie umgebenden lediglich durch die schlechtere Leitung, das Aufsteigen des Saftes und die Ausdünstung abzuleiten sey. Eben dieses Resultat geht aus einer abermaligen Reihe von Versuchen hervor[1], welche entscheiden sollten, ob die Säfte der Pflanzen der Kälte Widerstand leisten und ihre Wärme daher längere Zeit, ohne zu gefrieren, beibehalten. Es ergab sich daraus, dafs die Bäume sehr langsam erkalten, wenn die Temperatur unter den Gefrierpunct herabgeht, ohne Zweifel weil die gefrierenden Säfte Wärme entwickeln; allein das umgekehrte Verhalten findet statt, wenn die Wärme wieder steigt, und es ist daher klar, dafs neben andern bekannten Gesetzen hierbei blofs die Wärmeleitung sich wirksam zeigt. Hieraus und aus der starken Verdunstung wird dann auch erklärlich, dafs die Temperatur der Bäume im Sommer meistens etwas niedriger ist, als die der äufseren Luft. Auffallend war der Umstand, dafs die Bäume im Frühling, namentlich im März, etwas wärmer, als ihre Umgebung waren, was man zwar von der höheren Temperatur des aus tieferen Erdschichten in ihnen aufsteigenden Saftes abzuleiten geneigt ist, allein hiergegen streitet die wirklich dann noch statt findende gröfsere Kälte des Bodens, wie sie aus den Messungen mit Thermometern evident hervorgeht[2]. Diese durch die genannten Genfer Beobachtungen gleichfalls bestätigte Thatsache ist daher nicht wohl anders, als aus einer eigenthümlichen, durch die höhere Lebensthätigkeit beim Aufsteigen der Säfte herbeigeführten Wärmeproduction abzuleiten. Ob man daher berechtigt ist, mit Göppert[3], welcher dieses Problem so umsichtig geprüft und zugleich viele belehrende Versuche über das Gefrieren der Pflanzensäfte angestellt hat, den lebenden Pflanzen jede Art ei-

1 W. Neuffer Inauguraldissert. Unter dem Präs. von Schübler. Tüb. 1829.

2 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. 307.

3 Ueber die Wärmeentwickelung in Pflanzen u. s. w. Bresl. 1830. 8. S. 138 ff.

genthümlicher Wärmeerzeugung abzusprechen, bleibt noch immer fraglich, und die neuesten Versuche berechtigen vielmehr, ihnen eine solche beizulegen. Inzwischen läfst sich mit Gewifsheit annehmen, dafs die in den erwähnten zahlreichen Versuchen gefundenen Abweichungen ihrer Temperaturen von der ihrer Umgebungen im Ganzen als eine Folge ihres schlechteren Leitungsvermögens, der Verdunstung und des in ihnen aufsteigenden Saftes zu betrachten sind.

Ganz neuerdings hat Dutrochet[1] mit Anwendung eines thermoelektrischen Thermometers Versuche angestellt, wonach die Pflanzen allerdings Wärme entwickeln, die ihnen aber zu einem so grofsen Theile durch Verdunstung entzogen wird, dafs sie dadurch unter ihre Umgebung herabgehn. Hebt man den letzteren Einflufs auf, so zeigt sich eine Wärmeerzeugung von 0°,25 bis 1° C. und wohl noch mehr, wonach sie also in dieser Beziehung selbst die sogenannten kaltblütigen Thiere übertreffen, z. B. den grünen Frosch (*rana esculenta*), den Flufskrebs (*astucus fluviatilis*) und die rothe Schnecke (*limax rufus*). Die Wärmeerzeugung findet in den grünen Theilen der Pflanzen statt, ist allen Vegetabilien eigen, und zugleich veränderlich, indem sie von Morgens 10 Uhr bis Mittags 3 Uhr in den verschiedenen Pflanzen ihr Maximum erreicht und dann wieder sinkt. Auch die Dunkelheit unterbricht diesen Procefs nicht, schwächt ihn aber allmälig, bis er in einigen Tagen ganz aufhört. Van Beck[2] wiederholte diese Versuche mit einem gleichen Apparate und erhielt im Ganzen eine Bestätigung der gefundenen Resultate. Beide wählten aber nicht Bäume, sondern Pflanzen, Ersterer *sempervivum tectorum*, *euphorbia lathyris*, *vicia faba* u. a., Letzterer *sempervivum spatulatum*, *sedum cotyledon* u. s. w.

Wenn man überlegt, wie gering die Wärmeerzeugung in den Pflanzen ist, und wie ausnehmend vielfache Umstände sie bedingen, so darf man sich nicht wundern, dafs der Streit über dieses Problem so lange dauerte und so verschiedene Resultate zum Vorschein brachte. Dutrochet bezweifelt daher auch,

---

1 L'Institut. 7me Ann. N. 308. Edinburgh New Phil. Journ. N. LIV. p. 103.

2 Comptes rend. 1840. N. I. Jan. 6 u. 13. Edinburgh New Phil. Journ. N. XLVI. p. 331.

dafs die von BECQUEREL und MIRBEL an einem Baumaste wahrgenommene Temperaturerhöhung von 3° C. eine durch den Lebensprocefs erzeugte gewesen sey; auch konnte er nie irgend eine Wärmeproduction in den holzigen Pflanzentheilen wahrnehmen.

185) Wenn schon die Frage über eine eigenthümliche Wärme der Vegetabilien so widersprechend beantwortet wurde, so ist dieses noch mehr der Fall bei einer andern, nahe verwandten, über aufsergewöhnliche Wärmeproduction der Blüthen einiger Pflanzen in der kurzen Periode ihres Aufblühens oder der Befruchtung, indem hierbei kaum zu bezweifelnde entgegengesetzte Angaben einander so grell entgegenstehn, dafs die daraus entspringende Ungewifsheit auf eine unangenehme Weise afficirt[1]. Einer der Ersten, welcher diese spontane Wärmeentwickelung an den Kolben des *arum italicum* gewahrte, ohne jedoch den Grad der Wärme thermometrisch zu bestimmen, war LAMARK[2]. Diese Beobachtung wurde bestätigt und näher bestimmt durch SENNEBIER[3], welcher in die aufblühenden Kolben der Arum-Arten die Kugel eines feinen Thermometers senkte. Die Wärme stieg von 3 Uhr Nachmittags an, erhob sich über die der äufseren Luft und erreichte zwischen 6 bis 8 Uhr ihr Maximum von 8°,75. Wenig Gewicht kann die Bemerkung von DESFONTAINES[4] haben, dafs man diese Wärme schon durch das Gefühl wahrnehmen könne, und wenn C. C. GMELIN und SCHWEYKERT[5] versichern, die erwähnte Erscheinung am *arum italicum* 18 Jahre beobachtet zu haben, SCHULTES[6] aber eigene 10jährige Beobachtungen am *arum maculatum* erwähnt, so mufs man bedauern, dafs der Mangel thermometrischer Bestimmungen diese Angaben zweifelhaft macht. Das gewichtigste Zeugnifs für eine sehr mefsbare Wärmeentwicke-

1 Eine sehr vollständige Zusammenstellung der früheren Beobachtungen findet man in GÖPPERT über die Wärmeentwickelung u. s. w. S. 178.

2 Encyclop. method. T. III. p. 9. Grundlehren der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Gött. 1807. S. 229.

3 Physiologie végétale. T. III. p. 313.

4 Flora atlantica. T. II. p. 328.

5 Flora badensis. T. III. p. 585. Nach GÖPPERT's Wärmeentwickelung. S. 179.

6 J. C. SMITH Anleitung zum Studium der Botanik. S. 71. Ebend.

lung der Blüthenkolben einer auf der Insel Bourbon sehr häufig vorkommenden Arum-Species ist das von HUBERT, welches BORY DE ST. VINCENT[1] bekannt gemacht hat. Hierin ist die Erscheinung mit allen Nebenbedingungen so einfach und durchaus glaubwürdig beschrieben, dafs man keiner Beobachtung ferner Glauben schenken dürfte, wenn man diese in Zweifel ziehen wollte. Inzwischen mufste es auffallen, dafs TH. DE SAUSSURE[2], der Erzählung von SENNEBIER zuwider, am *arum italicum* keine Erhöhung der Temperatur wahrzunehmen vermochte, welches er jedoch davon ableitet, dafs diese Pflanze zu Genf keine reifen Früchte bringt; doch beobachtete er dieselbe bei 4 Exemplaren des *arum maculatum*, und setzte die Ursache in eine stärkere Bindung des Sauerstoffgases während dieser Periode, weil die Blüthen gleichzeitig vieles Wasser ausdünsten. Um auch geringere Wärmegrade messen zu können, bediente sich derselbe eines feinen *Lufthermometers*, einer Glaskugel an einer langen engen Röhre, in welcher letzteren ein kleiner Wassercylinder durch die Ausdehnung der Luft bewegt wird. Vermittelst dieses Mikrocalorimeters gewahrte er eine höhere Temperatur an der Blüthe des Kürbis, der *bignonia radicans* und der Tuberose. Nicht minder beobachtete auch C. H. SCHULTZ[3] bei einem im botanischen Garten zu Berlin befindlichen kräftigen Exemplare von *Caladium pinnatifidum*, dafs die Temperatur der Blüthe die der Luft um 4° bis 5° übertraf.

186) Alle diese Thatsachen kannte GÖPPERT, wie nicht minder die mehrere Jahre fortgesetzten Beobachtungen, welche L. C. TREVIRANUS[4] an den verschiedensten Arum-Arten gemacht hatte, die aber alle ein negatives Resultat gaben, indem er nie eine Erhöhung der Temperatur wahrnehmen konnte. GÖPPERT entschlofs sich daher gleichfalls zu einer Reihe von Versuchen, wobei er ein noch empfindlicheres Mikrocalorimeter anwandte, als welches DE SAUSSURE gebraucht hatte; allein es

---

1 Voyage dans les quatre principales îles d'Afrique. 3 T. 8. Par. 1804. T. II. p. 68. Daraus in Journ. de Phys. T. LIX. 280.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 279.

3 Die Natur der lebendigen Pflanze. 2 Th. 1828. S. 185. Nach GÖPPERT a. a. O. Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXI. p. 88.

4 Zeitschrift für Physiologie u. s. w. von F. Tiedemann u. s. w. Darmst. 1829. Th. III. S. 257.

gelang ihm nicht, bei den verschiedenen Arum-Arten, so wie bei 87 andern Pflanzen irgend eine Wärmeentwickelung zu finden. Hiernach bezweifelte also auch dieser Gelehrte die spontane Wärmeproduction der Pflanzen, als Folge ihres Lebensprocesses, selbst wenn dieser zur Zeit des Aufblühens am meisten gesteigert ist. Bleibt dieses immerhin noch zweifelhaft, so ist dagegen die Bemerkung völlig gegründet, dafs manche Beobachter, namentlich auch Bernhardi[1], durch das Gefühl getäuscht wurden, wonach die Staubbeutel wegen besserer Wärmeleitung vor dem Aufplatzen kälter zu seyn scheinen, als nachher. Inzwischen sind noch einige spätere Beobachtungen erhöheter Wärme der Blüthen bekannt geworden, z. B. von G. Vrolik und W. H. de Vriese[2], welche dieses bei dem Spadix einer *colocasia odora* im April 1835 wahrnahmen, Göppert[3] selbst aber beobachtete später bei *arum dracunculus* eine bis $8^0,75$ C. steigende höhere Wärme, als die der Umgebung; sie trat in der 17. Stunde nach der Entwickelung der Blume ein, dauerte 32 bis 36 Stunden und hatte ihren Hauptsitz in den Staubgefäfsen. Ebenso mafsen van Beck und Bergsma[4] mittelst eines thermomagnetischen Apparates die Wärme im Spadix der *colocasia odora*[5] $= 43°$ C., während die der Umgebung nur 21° C. betrug. Das Nämliche beobachtete Brongniart, Dutrochet aber bediente sich zu seinen Versuchen gleichfalls eines thermoelektrischen Apparates, und fand mit demselben, dafs der Spadix von *arum maculatum* eine Wärmezunahme zeigt, welche ungefähr zwei Tage vor seinem Oeffnen anfängt, fortwährend zunimmt und im Augenblicke des Oeffnens ihr Maximum von 11° bis 12° C. über die der Umgebung erreicht. Hierbei erhält sie sich ungefähr zwei Stunden, nimmt dann ab und verschwindet nach etwa zwölf Stunden gänzlich[6]. Uebrigens entwickeln sowohl die männlichen, als auch die weiblichen Blüthentheile dieser Pflanzen

---

1 Römer's Archiv d. Botanik. Th. III. S. 446.

2 Tijdschrift voor Naturlijke Geschiedenis en Physiologie. Amst. 1835. T. II. p. 396.

3 Froriep Notizen. Th. XLIX. S. 136.

4 L'Institut, 1839. N. 275. p. 111.

5 Diese Pflanze hiefs früher *arum cordifolium*, an welcher Bory de St. Vincent seine erwähnten Beobachtungen machte. S. ebend.

6 L'Institut. 1839. N. 280. p. 151.

Wärme, welche am Tage gröfser ist, als während der Nacht, in der ersten Nacht hält sie jedoch, wenn auch im geschwächteren Grade, an und verschwindet in der zweiten gänzlich[1].

Hiernach müssen wir also den Pflanzen im Allgemeinen eine durch ihr vegetabilisches Leben bedingte Kraft der Wärmeerzeugung beilegen und eine höhere durch den gesteigerten Lebensprocefs während ihres Blühens hervorgerufene. Da wir das eigentliche Wesen des Lebens nicht kennen, so läfst sich nicht wohl mit Sicherheit entscheiden, ob dieses an sich und unmittelbar die Ursache dieses Vermögens der Wärmeerzeugung sey, oder ob diese durch die chemische Assimilation der Säfte zu neuen Bildungen hervorgerufen werde; für die stärkere Wirkung während des Blühens gilt das Nämliche, es sey denn, dafs hierbei nach den erwähnten Versuchen von de Saussure eine bedeutende Aufnahme des Sauerstoffgases statt finde, um mit dem ausgehauchten Wasserstoff der Blumen Wasser zu bilden, und dafs in diesem langsamen Verbrennungsprocesse die Ursache der so bedeutenden Wärmeproduction zu suchen sey. Auf jeden Fall dürfen wir diese Wärmequelle mit der durch Chemismus in Parallele setzen.

187) b) Alle *lebende Thiere* besitzen das Vermögen der Wärmeerzeugung und die Kraft, einer bedeutenden äufseren höheren oder niedrigern Temperatur zu widerstehen, allein in einem so ungleichen Grade, dafs man diese Fähigkeit bei einigen Thieren ebenso lange, als bei den Vegetabilien in Zweifel gezogen hat. Dutrochet[2] hat das Ganze auf eine interessante Weise unter einen allgemeinen Gesichtspunct zurückgebracht. Die eigenthümliche Wärme ist am gröfsten bei Thieren, welche elastische Luft athmen, mit Ausnahme der Gasteropoden, deren Lungen sehr klein sind. Bei Thieren, welche durch Kiemen die im Wasser enthaltene Luft athmen, so wie bei den Mollusken, ist die Wärme sehr gering, und steht selbst der bei den Pflanzen wahrgenommenen nach, deren Ursache er in einer Art Athmung des aus ihren grünen Theilen entweichenden Sauerstoffgases findet, was wohl sehr bestritten werden könnte; richtiger aber setzt er ihr Wärmeproductionsvermögen im gestei-

---

1 L'Institut. 1839. N. 281. p. 158.

2 L'Institut. 8me Ann. N. 324. p. 93. Edinburgh New Phil. Journ. N. LVI. p. 152.

gerten Zustande unmittelbar nach dem der warmblütigen Thiere, denn die *euphorbia lathyris* erzeugte zehnmal so viele Wärme, als ein Frosch, und die Arum-Arten noch mehr. Nach einem allerdings höchst merkwürdigen Naturgesetze ist übrigens bei Thieren und Pflanzen die durch ihren Lebensprocefs erzeugte Wärme entweder unmerklich, oder so, dafs sie sich namentlich bei den warmblütigen Thieren dem Grade nähert, wobei das Leben aufhören mufs, welchen Punct man bei 50° C. annehmen kann, dem sich die Vögel mit 44° nähern[1]. Nach einem andern höchst merkwürdigen Gesetze entnehmen die Thiere von geringer Wärmeproduction Wärme aus ihrer Umgebung, Thiere von hoher Wärmeproduction dagegen geben an dieselbe ab; letztere können nicht leben in Temperaturen, welche die ihrige übertreffen, und erstere nicht in solchen, welche niedriger sind, als die ihrige, wohl aber in viel höheren, z. B. Fische in 40° C., doch schwerlich in solchen, welche diese übersteigen[2].

Ohne es bei dieser Aufgabe gerade auf Vollständigkeit abzusehen, welche in das Gebiet der Physiologie gehört, scheint es mir angemessen, einige hierher gehörige nähere Bestimmungen beizubringen, wobei dasjenige, was zur Wärmeproduction der Menschen gehört, vom vorzüglichsten Interesse seyn dürfte.

188) *α*) Bei den niederen Thierclassen ist im Allgemeinen die Wärmeproduction so gering, dafs es schwer fällt, sie überhaupt nur wahrzunehmen. Die Temperatur der *Würmer* weicht in der Regel nur wenig von der sehr ungleichen der Medien ab, worin sie leben; manche erstarren bei geringer Vermehrung der Kälte, andere, in höheren Temperaturen lebend, sollen nach Hunter[3] und Rudolphi[4] etwas weniger warm seyn, als die Medien, worin sie sich befinden. Auf Ceylon z. B. fand John Davy[5] die Temperatur der Blutegel genau

1 Diese Angabe dürfte wohl zu hoch seyn, wie sich aus den nachfolgenden Messungen ergeben wird.

2 L'Institut. 8me Ann. N. 324. p. 93. Die Angaben noch höherer Temperaturen, worin Fische leben sollen, zieht Dutrochet in Zweifel. Dieses dürfte auch auf die Angabe anwendbar seyn, dafs Fische, namentlich Goldfische, im Wasser von 75° C. Wärme leben sollen. S. Froriep Not. Th. XXXVI. S. 57.

3 Philosophical Trans. 1775. 1776.

4 Physiologie. Th. I. S. 171.

5 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVII. 44.

den Medien gleich, worin sie sich befanden. Die Schnecken ziehen sich bei zunehmender äufserer Kälte in die Erde zurück, und erscheinen selbst bei nur mäfsiger äufserer Wärme dem Gefühle kalt[1]. JOHN DAVY mafs die Temperatur grofser Schnecken auf Ceylon und fand sie = 24°,45 C., etwas weniges geringer, als die Luft der Schachtel, worin sie sich befanden; die der gemeinen Austern war genau die des Meeres und eben dieses fand sowohl beim Krebse als auch bei den Krabben statt. Nach den Untersuchungen von DUTROCHET[2] erscheinen alle diese Thiere leicht kälter als ihre Umgebung, weil sie in der Regel feucht sind und ihre Temperatur daher durch Verdunstung herabgeht, weswegen man sie bei anzustellenden Versuchen in Luft bringen mufs, die mit Wasserdampf gesättigt ist; allein selbst dann konnte weder er selbst, nach BERTHOLD irgend eine Wärmeerzeugung bei den Mollusken und Anneliden wahrnehmen. Ein sehr geringes Wärmeproductionsvermögen wollen Einige bei den *Crustaceen* und *Testaceen* gefunden haben[3], DUTROCHET aber giebt an, dafs alle frühere Beobachter so wenig, als er selbst, bei den Crustaceen irgend eine Eigenwärme entdecken konnten. Die *Amphibien* besitzen in einem nicht unbedeutenden Grade das Vermögen, einer äufseren höheren Temperatur zu widerstehen[4], und erzeugen, namentlich die Schildkröten, nach HUNTER einige Grade Wärme, wenn sie sich in kälteren Medien befinden, als welche der für sie geeigneten Temperatur angemessen ist. Inzwischen fand JOHN DAVY auch in wärmeren Gegenden die Temperatur der Schildkröten höher, als die ihrer Umgebung, z. B. unter 2° 27′ N. B. jene 28°,89, diese 26°,35 und unter 2° 29′ S. B. jene 31°,3, diese 26°,67 C.; dagegen in der Kapstadt jene nur 16°,9, diese 16°,11 und zu Colombo jene 29°,45, diese 30°, bei einem gröfseren Exemplare aber jene 30°,56, diese 26°,67. Bei den *Reptilien* ist es schon leichter, eine Wärmeproduction wahrzunehmen, auch ist diese ihnen wohl ohne Ausnahme eigenthümlich zugehörend. DUTROCHET[5] erwähnt,

1 SPALLANZANI Mém. sur la respiration. p. 256.

2 L'Institut. 8me Ann. N. 324. p. 93.

3 POLI Testacea utriusque Siciliae eorumque historia. T. I. P. II. cap. 5. 6.

4 DE LA ROCHE in Journ. de Phys. T. LXXI. p. 292.

5 A. a. O.

dafs Berthold die Frösche in trockner Luft kälter als ihre Umgebung gefunden habe, was jedoch eine Folge der Verdunstung seyn mufs, denn wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, zeigten sie ihm etwa 1° C. Wärme über die der Umgebung; Dutrochet selbst aber fand nicht mehr als 0°,03 bis 0°,05 und bei einer Kröte 0°,12 C., welche geringe Gröfse nur mittelst des thermomagnetischen Apparates mefsbar ist. Uebereinstimmend hiermit behauptet G. R. Treviranus[1], bei seinen Versuchen mit Fröschen, die in einem Glase aufbewahrt wurden, keine Eigenwärme derselben wahrgenommen zu haben, John Davy aber fand zu Kandy die Wärme einer *rana ventricosa* nur 25° in Luft von 26°,67, wahrscheinlich als Folge der Verdunstung. Ebenso erhielt Czermak bei der *Lacerta agilis* 1°,25 bis 8°,12 C., Dutrochet nur 0°,21, Rudolphi[2] dagegen fand die innere Wärme der *Lacerta maculata* = 18°,75 bei 12°,5 und die eines *proteus anguinus* = 18°,75 bei 16°,25 äufserer Temperatur. Die Temperatur der *Schlangen* fand John Davy stets höher, als die der Luft, und zwar nicht blofs unmerklich, z. B. bei einer Species *Coluber* = 31°,32 in Luft von 27°,45 und bei einer Species der braunen Schlange 32°,23 in Luft von 28°,34, bei einem andern kleineren Exemplare aber nur 29°,1 in Luft von 27°,98 C. Von den *Fischen* behauptet Braun[3], dafs sie stets genau die Temperatur des Wassers haben, worin sie leben, und eben dieses fand auch Dutrochet, jedoch gesteht Letzterer zu, dafs v. Humboldt und Provenzal, Prevost und Dumas, so wie Berthold einen geringen Wärmeüberschufs bei ihnen beobachtet haben. Nach v. Humboldt und Provenzal[4] beträgt der Ueberschufs ihrer Wärme über die des Wassers nicht mehr, als 1° bis 1°,5 C., und John Davy[5] giebt an, dafs er diesen geringen Unterschied constant bei allen von ihm untersuchten Exemplaren gefunden habe. Bei einigen, namentlich dem Haifische, mufs indefs der Unterschied gröfser seyn, denn nach Perrins[6] betrug die Wärme

1 Die Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens. Bremen 1831. Th. I. S. 419.

2 Physiologie. Th. I. S. 178.

3 Nov. Comm. Soc. Petrop. T. XIII. p. 419.

4 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 598.

5 G. LXVI. 129.

6 G. XIX. 448.

des letzteren 27°,75 C., die des Wassers aber nur 24°, jedoch meint G. R. Treviranus[1], dafs die von John Davy am Haifische wahrgenommene höhere Temperatur eine Folge schlechter Leitung gewesen sey; auch leitet dieser selbst sie von anderweitigen Bedingungen des zur Untersuchung dienenden Exemplars ab. Nach den Beobachtungen von King[2] bei der Expedition des Capitain Back betrug am Sklavensee die Wärme im Bauche einer Forelle 2°,22 C. in einer Umgebung von — 0°,55 und in einem andern Falle 1°,12 C. bei 0° der Umgebung; ein Weifsfisch zeigte aber 6°,12 bei 2°,78 äufserer Wärme. Auf jeden Fall ist die Eigenwärme der Fische sehr gering, weswegen Cuvier[3] sie geradezu kaltblütig nennt, weil die geringe Menge Sauerstoffgas, die sie aus dem Wasser aufnehmen, ihre Wärme nicht bedeutend steigern kann. Becquerel und Breschet[4] fanden bei ihren sorgfältigen Versuchen die Wärme eines Karpfen (*cyprinus carpio*) nur 13°,5 in Wasser von 13° C.; doch hat man Beispiele, dafs eingefrorene Fische nach vorsichtigem Aufthauen lebendig erhalten wurden, ich selbst aber sah einigemal zufällig Fische, in wenigem, ihrer Form anpassenden, Wasser, welches völlig in Eis eingeschlossen war, eine Erscheinung, die man nur von ihrer eigenthümlichen Wärmeproduction oder minder wahrscheinlich vom schlechten Leitungsvermögen ableiten kann[5].

Von dieser allgemeinen Regel weicht indefs der *Wallfisch* bedeutend ab, gehört aber auch zu den höheren Thierclassen, sofern er durch Lungen athmet. Ungeachtet seines Aufenthalts zwischen dem Eise in den Polarmeeren ist seine Wärme ausnehmend grofs, denn Scoresby[6] mafs bei einem eben getödteten gemeinen Wallfische (*balaena mysticetus*) 38°,77 C., aber auch die innere Wärme eines vor anderthalb Stunden getödteten Narwals (*monodon monoceros*) fand er 35°,2 C. Minder erwartet war die Beobachtung einer ungewöhnlichen Eigen-

1 Die Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens. Th. I. S. 417.

2 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLI. p. 150.

3 Histoire naturelle des Poissons. T. I. p. 275.

4 Ann. des Sciences nat. T. III. 1835. Zool. p. 257.

5 Viele Beispiele nebst Angaben der Quellen findet man in Treviranus Biologie. Th. V. S. 25 und Rudolphi Physiologie. Th. I. p. 174.

6 Account of the artic Regions. T. I. p. 477.

wärme, welche John Davy[1] bei einigen Species des Thunfisches wahrnahm, wobei immer merkwürdig ist, daſs schon Aristoteles[2] diesen Fischen eine auſsergewöhnliche Wärme beilegt. Auf einer Reise nach Ceylon zeigte ein in den dicken Muskel eines frisch gefangenen Thunfisches eingesenktes Thermometer 37°,23 C., obgleich die Oberfläche des Meeres da, wo er gefangen war, nur 26°,9 C. warm war. Bei späteren Untersuchungen anderer Species dieser Gattung fand John Davy die Sache bestätigt und erfuhr von den Fischern, daſs ihnen dieses nicht unbekannt sey, indem sie vielmehr die Eigenwärme dieser Fische der bei warmblütigen Thieren gleich setzten. Die groſse Eigenwärme des Narwals, so wie der Wallfische und Delphine, die durch Lungen athmen, hat gerade nichts Auffallendes, vielmehr ist eine starke Wärmeproduction wegen des kalten Mediums, worin sie leben, ihnen nothwendig, die der Thunfische aber sucht John Davy aus ihrem sehr ausgebildeten Nervensystem zu erklären, worüber zu entscheiden auſser meinem Bereiche liegt.

189) Den *Insecten* sprechen manche Physiologen alle Wärmeproduction ab, und glauben, daſs die wenigen etwa beobachteten Grade durch Reibung und mechanische Bewegung, z. B. der Flügel, erzeugt würden. Anhänger dieser Meinung sind unter andern Braun[3], Maraldi[4], Rengger[5] und Treviranus[6]; inzwischen haben Reaumur's[7] gehaltreiche Beobachtungen unlängst dargethan, daſs die von diesen Thieren erzeugte Wärme im Verhältniſs zur Gröſse ihres Körpers und der hiernach um so viel stärkeren Ableitung keineswegs unbedeutend ist, was auch aus der nicht geringen Menge des durch sie in Gasform verzehrten Sauerstoffs sich leicht erklären läſst. Am auffallendsten gewahrt man eine starke Wärmeproduction bei

---

1 Edinburgh New philos. Journ. N. XXXVII. p. 192. XXXVIII. p. 325.

2 Hist. anim. Lib. VIII. cap. 19.

3 Nov. Comm. Soc. Petrop. T. XIII. p. 419.

4 Mém. de l'Acad. de Par. 1712. p. 423.

5 Physiologische Untersuchungen über d. thierische Haushaltung d. Insecten. Tüb. 1817. S. 40.

6 Biologie. Th. V. S. 30. Erscheinungen und Ges. Th. I. S. 421.

7 Hist. nat. des Insectes. éd. 8. T. V. P. II. p. 360.

den Bienen[1], weil diese in grofsen Mengen vereint sind und daher die sonst statt findende starke Ableitung ihre Wirkung nicht äufsern kann. Mit Recht mufs man daher den Insecten das Vermögen der Wärmeerzeugung durch den Lebensprocefs beilegen[2], auch geben Rengger und Maraldi dieses zu, obgleich sie, wie auch Reaumur, die Ursache minder richtig in der Bewegung finden, ja nach den Versuchen von Treviranus soll dieselbe, obgleich aus dieser Ursache entspringend oder mindestens dadurch bedingt, selbst an einzelnen Individuen wahrnehmbar seyn. Dafs übrigens die Ursache nicht in der Bewegung, sondern in der Respiration zu suchen sey, geht aus zahlreichen Versuchen hervor. J. Hunter[3] mafs bei einer äufseren Temperatur von 12°,25 C. in einem Bienenkorbe 27°,75 und bei 1°,6 äufserer 22°,75, nach Hausmann[4] aber überstieg die Wärme der Heuschrecke die äufsere um 3°,75. Nach den schätzbaren Versuchen von M. G. Newport[5] produciren alle Insecten Wärme und die Menge derselben ist durch ihre Nahrung bedingt, indem sie so viel tiefer herabgeht, je mehr das Thier hungert. Im Ganzen ist also das Verhalten der Insecten in dieser Beziehung genau so, wie bei warmblütigen Thieren, jedoch geht die erzeugte Wärme um so viel schneller verloren, weil kein Blutumlauf statt findet, da ihr Blut kein eigentliches arterielles und venöses ist. Man wird dieser Ansicht um so leichter beitreten, wenn man berücksichtigt, dafs beide Thierclassen nach der oben mitgetheilten allgemeinen Bemerkung Sauerstoffgas verzehren und Kohlensäure aushauchen. Ich selbst habe dieses durch Versuche mit gemeinen Stuben-

---

1 C. W. Juch Ideen zu einer Zoochemie. Erf. 1800. Th. I. S. 90. Hunter in Phil. Trans. T. LXXXII. p. 136. Wenn in der Lüneburger Heide die Bienenkörbe, besserer Nahrung halber, verfahren werden, so geschieht dieses, hauptsächlich wegen Vermeidung zu grofser Wärme, bei Nacht. Dennoch ist es nöthig, am andern Morgen die Körbe zeitig zu öffnen, damit die Bienen nicht verbrennen, wie man sagt; denn wirklich steigt aus dem Drahtgitter im Boden der Körbe eine Hitze auf, die man kaum mit der Hand zu ertragen vermag.

2 Rudolphi Physiologie. Th. I. S. 179.

3 Phil. Trans. 1792. p. 671.

4 De animal. exsang. respiratione. p. 68.

5 L'Institut. 5me Ann. N. 211. p. 356. Philos. Trans. 1836. P. II. p. 529. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXVI. p. 189.

fliegen oftmals versucht, und man hat hierin ein bequemes Mittel, nach Wegnahme der Kohlensäure reines Stickgas zu erhalten; auch stimmen zahlreiche andere Beobachter hiermit überein, namentlich Reaumur, Bonnet, Scheele, Huber, Edwards, Audoin und Andere, wie Newport versichert, welcher noch weiter durch zahlreiche Versuche dargethan hat, dafs die Menge des verzehrten Sauerstoffgases nach dem Lebensalter, der Constitution und den äufsern Bedingungen verschieden ist. Aufserdem hat derselbe die Functionen der Respirationswerkzeuge bei den Insecten nachgewiesen und die in gegebenen Zeiten erhaltenen Quantitäten der durch verschiedene Insecten erzeugten Kohlensäure tabellarisch zusammengestellt. Mit dieser Ansicht stimmen endlich Nobili und Melloni, so wie auch Dutrochet [1] überein. Nobili und Melloni [2] bedienten sich bei ihren Versuchen der thermoelektrischen Säule, deren beiden Enden gegenüber sie kleine metallene Hohlspiegel stellten, in deren einem die zu prüfenden Insecten durch ein sehr feines Drahtnetz frei beweglich festgehalten wurden. Alle Insecten zeigten durch Ablenkung der Magnetnadel freie Entwickelung der Wärme, einige eine nicht unbedeutende; auch ergab sich bei den *Lepidopteren*, dafs die Raupen stets eine höhere Temperatur besitzen, als die Puppen und Schmetterlinge. Sofern aber das Respirationssystem der Raupen weit entwickelter ist, als das der Puppen und Schmetterlinge, so läfst sich hieraus folgern, dafs die Insecten in der ersten Periode ihres Lebens, wo sie viel fressen und rasch wachsen, eine gröfsere Menge Sauerstoff in Kohlensäure verwandeln, als in ihren späteren Lebensperioden, und dafs also die Wärme auch dieser Thierarten auf gewisse Weise mit der Menge des verzehrten Sauerstoffgases zunimmt. Hierdurch zeigen sie eine unverkennbare Aehnlichkeit mit den warmblütigen Thieren; endlich aber wird aus John Davy's Versuchen sogar wahrscheinlich, dafs sie eine gewisse Normaltemperatur in höherer äufserer Wärme beibehalten. Er fand nämlich

---

1 L'Institut. 8me Ann. N. 824. p. 93.

2 Aus Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198 in Poggendorff's Ann. XXVII. 446.

| Species | Temperatur Thier | Luft | Species | Temperatur Thier | Luft |
|---|---|---|---|---|---|
| Scarab. pilul. | 25°,00 | 24°,45 | Apis ichneum . . . | 24°,45 | 23°,89 |
| Blatta orient. | 23,89 | 28,33 | Scorpio afer . . . . | 25,25 | 26,11 |
| | | 23,34 | Julus . . . . . . . | 25,75 | 26,67 |
| Gryllus haemat. | 22,43 | 16,66 | Glühwurm . . . . . | 23,34 | 22,78 |

190) β) Daſs die höheren, durch Lungen athmenden Thierclassen ein Wärmeproductionsvermögen besitzen, unterliegt keinem Zweifel, denn ihre Eigenwärme ist mit seltenen kurzdauerndern Ausnahmen gröſser, als die ihrer Umgebung; die genaue Bestimmung ihrer Gröſse aber und der Bedingungen, denen sie unterworfen ist, haben eine zahllose Menge Untersuchungen veranlaſst. Hiernach ist die Wärme bei den Vögeln am gröſsten, denn sie beträgt nach Braun[1] zwischen 37°,5 und 43°,75 C., nach den zahlreichen und genauen Versuchen von Pallas[2] aber ist ihr Minimum 39°,25 und ihr Maximum 43°,8 C. Einige nähere Bestimmungen hierüber hat Dumas[3] angegeben, woraus sich zugleich ergiebt, daſs diese höhere Wärme mit der Zahl der Pulsschläge in der Minute ziemlich, nicht aber mit der Frequenz des Athmens correspondirt. Hiernach ist

| Gattung | Temperatur | Pulsschlag | Athmung |
|---|---|---|---|
| Taube | 40°,0 | 136 | 34 |
| Huhn | 41,5 | 140 | 30 |
| Ente | 42,5 | 110 | 21 |
| Fischreiher | 41,0 | 200 | 20 |

Auch John Davy[4] hat bei verschiedenen Vögeln die Eigenwärme gemessen, namentlich auch bei solchen, die unter niederen Breiten leben. Zur leichteren Uebersicht stelle ich neben die untersuchten Species zugleich die Aufenthaltsorte, nebst der Temperatur der Luft, und die der Vögel neben einander.

1 Nov. Comm. Petrop. T. XIII. p. 419.
2 S. Rudolphi Physiologie. Th. I. S. 181.
3 Ann. de Chimie. T. XXII. p. 50.
4 A. o. a. O.

| Species | Aufenthalt | Temperatur Luft | Thier |
|---|---|---|---|
| Falke[1] . . . . . . . . . | Colombo . . . | 25°,25 | 37°,22 |
| Todteneule . . . . . . . . | London . . . | 15,56 | 40,00 |
| Papagei . . . . . . . . . | Ceylon . . . . | 24,44 | 41,11 |
| Dohle . . . . . . . . . | Ceylon . . . . | 29,44 | 42,00 |
| Gemeine Drossel . . . . . | London . . . | 15,55 | 42,78 |
| Gemeiner Sperling[2] . . . . | Ceylon . . . . | 26,67 | 42,22 |
| Gemeine Taube . . . . . | Ceylon . . . | 25,56 | 43,00 |
| | London . . . | 15,56 | 42,22 |
| Indisches Huhn . . . . . | Ceylon . . . . | 25,56 | 42,22 |
| Gemeines Huhn . . . . . | Edinburgh . | 4,44 | 42,50 |
| | Ceylon . . . | 25,56 | 43,88 |
| Perlhuhn . . . . . . . . | Ceylon . . . . | 25,56 | 43,33 |
| Welsches Huhn . . . . . | Ceylon . . . . | 25,56 | 42,77 |
| Procellar. aequinoct. . . . . | 2° 3′ N. B. . | 26,11 | 40,75 |
| Procell. capensis . . . . . | 34° 1′ S. B. . | 15,00 | 40,75 |
| Gemeine Gans . . . . . . | Ceylon . . . . | 25,56 | 41,66 |
| Gemeine Ente . . . . . . | Ceylon . . . . | 25,56 | 43,33 |

Die Vögel können aufserdem in sehr grofser Kälte ausdauern, und ihre Eigenwärme scheint darin nicht merklich herabzugehen, denn King[3] beobachtete am Sklavensee beim Waldrebhuhn, sowohl Männchen als auch Weibchen, übereinstimmend 43°,33 C. in einer Umgebung von — 8°,33 bis — 15°; beim weifsen Rebhuhn gleichfalls 43°,33 in einer Kälte von — 35°,55 C., bei einem Schneehuhn aber nur 41°,2 in einer Kälte von — 40°,55 C., bei einem braunen Taucher 41°,4 und beim Eistaucher 35°,0 in einer Atmosphäre von 10°, bei der Blaumeise 37°,78 in — 8°,89, beim Blutfinken 37°,22 in — 21°,67, endlich bei einem Sandläufer (Schnepfe) 41°,66 in einer Umgebung von 15°,55. Hieraus geht zugleich hervor, dafs die Vögel grofse Kältegrade ertragen können, indefs findet man, dafs Sperlinge und Raben bei strengstem Froste ungewöhnlich kalter Winter, vermuthlich aber hauptsächlich wegen Mangels an Nahrung aus der Luft herabfallen; auch erzählt J. G. Gmelin[4], dafs Elstern und Sperlinge bei einer Kälte unter dem

1 Dieser Vogel war einige Stunden vorher geschossen.

2 Beim Spatzen fand Edwards im Februar 40°,66, im April 41°,94 und im Juli 43°,75 C. S. De l'Influence des agens phys. sur la Vie. Sect. III.

3 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLI. p. 150.

4 Flora Sibirica. Petrop. 1747. 4. Praef. p. LI.

Gefrierpuncte des Quecksilbers zu Jeniseisk todt niederfielen, aber sich wieder erholten, wenn sie zeitig genug in die Wärme gebracht wurden.

191) Ueber die Eigenwärme der Säugethiere giebt es eine unglaubliche Menge von Beobachtungen, von denen einige der wichtigsten zu erwähnen genügen wird. Unter die älteren gehören die von Martine[1], Braun[2], Hunter[3] und vorzüglich Pallas[4]. Hiernach nähern sich die kleinern Thiere mehr den Vögeln, indefs weicht ihre Temperatur nicht sehr von derjenigen ab, welche bei Menschen constant gefunden wird, die gröfsern Thiere dagegen haben die letztere mit unbedeutenden Abweichungen. Dumas[5] hat, wie bei den Vögeln, so auch bei den Säugethieren die Eigenwärme derselben mit den Mengen der Pulsschläge und der Athmungen in einer Minute zusammengestellt.

| Gattung | Temp. | Pulsschläge | Athmung |
|---|---|---|---|
| Affe . . . . . | 35°,5 | 90 | 30 |
| Schwein . . . . | 38,0 | 140 | 36 |
| Hund . . . . . | 37,4 | 90 | 28 |
| Katze . . . . . | 38,5 | 100 | 24 |
| Ziege . . . . . | 39,2 | 84 | 24 |
| Kaninchen . . . | 38,0 | 120 | 36 |
| Pferd . . . . . . | 36,8 | 56 | 16 |
| Schaf . . . . . | 38,0 | — | — |

So wie bei den Vögeln, verdienen auch die durch John Davy bei den Säugethieren angestellten Messungen vorzugsweise Beachtung, und ich theile sie daher auf gleiche Weise, wie jene, hier mit.

1 Dissertations sur la chaleur. Par. 1751. 8.
2 Nov. Comm. Petrop. T. XIII. p. 419.
3 Philos. Trans. 1792. p. 671.
4 Rudolphi Physiol. Th. I. S. 183.
5 Ann. de Chim. T. XXII. p. 50.

| Species | Aufenthalt | Temperatur der Luft | Temperatur des Thiers |
|---|---|---|---|
| *Simia Aygula* . | Colombo . . . | 30°,00 | 40°,00 |
| *Manis pentedactyla*[1] | Colombo . . . | 26,66 | 32,22 |
| Fledermaus . . | Colombo . . . | 27,78 | 38,00 |
| Vesp. Vampirus . | Colombo . . . | 21,11 | 37,78 |
| Eichhörnchen . . | Colombo . . . | 27,22 | 38,89 |
| gem. Ratte . . . | Colombo . . . | 26,67 | 38,89 |
| Hase . . . . | Colombo . . . | 26,67 | 37,78 |
| Ichneumon . . | Colombo . . . | 27,22 | 39,44 |
| Frettel . . . . | Colombo . . . | 26,67 | 37,78 |
| Hofhund . . . | Ceylon . . . . | .... | 39,44 |
| Schakal . . . | Colombo . . . | 28,89 | 38,33 |
| gem. Katze . . . | London . . . | 15,56 | 38,33 |
| Parther . . . . | Colombo . . . | 27,22 | 38,89 |
| Pferd . . . . | Ceylon . . . . | 27,78 | 37,45 |
| Schaaf . . . . | Schottland . . . | .... | 38,33<br>40,00 |
| Ziege . . . . | Colombo . . . | 25,56 | 39,50 |
| Ochse . . . . | Edinburgh . . | .... | 37,78 |
| | Ceylon . . . . | 26,67 | 38,89 |
| Elenthier . . . | Ceylon . . . . | 25,56 | 39,44 |
| wildes Schwein . | Ceylon . . . . | 23,88 | 40,55 |
| Elephant . . . | Colombo . . . . | 26,67 | 37,45 |
| Meerschwein . . | 8° 23′ nördl. Br. | 22,22 | 37,77 |

Aus verschiedenen Messungen von John Davy geht hervor, oder wird mindestens sehr wahrscheinlich, daſs die Wärme der genannten Thiere durch das heiſsere Klima um 1 bis 2 Grade und wohl noch mehr gesteigert wird. Dieses ist allerdings merkwürdig, denn Arago[2] bemerkt, daſs nach den Resultaten der Messungen während der Expedition des Capitain Back die Temperatur warmblütiger Thiere durch eine Kälte von 0° bis — 32° nicht abnimmt, und noch augenfälliger ergiebt sich dieses aus denen, welche während Parry's zweiter Reise angestellt wurden[3]. Hiernach waren

1 Das Thier war merklich krank.

2 L'Institut 1836. N. 164. p. 205.

3 Ann. Chim. et Phys. T. XXVIII. p. 223.

| Thiere | Temperaturen Luft | Thiere |
|---|---|---|
| arktischer Fuchs . | — 25°,6 | 41°,5 |
| derselbe . . . . | — 23,3 | 36,6 |
| weifser Hase . . . | — 29,4 | 38,3 |
| Fuchs . . . . . | — 35,6 | 41,1 |
| derselbe . . . . | — 26,2 | 37,8 |
| Wolf . . . . . . | — 32,8 | 40,5 |

Ebenso nach KING's[1] Messungen bei der Expedition des Capitain BACK

| Thiere | Temperaturen Luft | Thiere |
|---|---|---|
| männl. Eichhörnchen | — 40°,56 | 38°,89 |
| weibl. Eichhörnchen | — 8,83 | 38,89 |
| Moschusochse . . . . | + 5°,00 | 40,00 |
| Lemming . . . . . . | + 3,89 | 33,89 |

192) Bei der Untersuchung der thierischen Wärme darf zugleich diejenige nicht übersehn werden, welche bei einigen Thierclassen im Winterschlafe statt findet. Uebergehn wir dasjenige, was diesen höchst merkwürdigen Zustand im Allgemeinen betrifft, wie es nach den frühern Untersuchungen von HEROLD, RAFFIN, SPALLANZANI, MANGILI, SAISSY, PRUNELLE und Anderen durch FLOURENS[2] zusammengestellt worden ist, so unterscheidet Letzterer den Zustand der vollkommenen und unvollkommenen Lethargie; im ersteren findet weder Athmung noch Blutumlauf statt, im letzteren wird das Athmen durch Zwischenräume von Minuten und selbst Stunden unterbrochen, die Temperatur geht aber bis 5°, 4° und selbst 3° C. herab. Sehr genaue Untersuchungen über die eigenthümliche Beschaffenheit des Winterschlafes nach lange fortgesetzten Beobachtungen und vielfach modificirten Versuchen hat MARSCHALL HALL[3] bekannt gemacht. Dieser Zustand ist hiernach ein eigentlicher Schlaf, jedoch vom gewöhnlichen dem Grade nach verschieden. Durch Kälte fallen die Thiere in gewöhnlichen Schlaf, und dieser geht allmälig in den eigentlichen Winterschlaf über, in

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLI. p. 151.
2 Ebendas. N. XIV. p. 219.
3 Philosoph. Transact. 1832. p. 335 ff.

welchem das Blut wegen mangelnder Respiration seinen arteriellen Charakter verliert. Die Irritabilität ist vermehrt, die Respiration geschwächt oder ganz fehlend, die Sensibilität der Nerven aber und die Muskelbeweglichkeit sind unvermindert; wird das Thier gereizt, so erfolgt Respiration und die Wärme steigt; mit aufhörendem Reize tritt der frühere Zustand wieder ein. Der Winterschlaf ist vom Torpor verschieden, in welchen das Thier durch heftige Kälte und andere dasselbe stark afficirende Leiden verfällt. Im Ganzen ist die Lebensthätigkeit so gering, dafs das Thier fast genau die Temperatur der Umgebung annimmt. Letztere Thatsachen ermittelte Marschall Hall dadurch, dafs er ein feines Thermometer unter dem Bauche einer in den Winterschlaf verfallenen, durch schlechte Wärmeleitung von der äufsern Luft abgesonderten Fledermaus liegen liefs und die Scale von aufsen beobachtete. Vom 6ten bis 31sten Januar erhielt er folgende Temperaturen.

| Thier | Luft | Thier | Luft | Thier | Luft | Thier | Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4°,65 | 4°,44 | 3°,00 | 2°,78 | 2°,22 | 2°,22 | 5°,00 | 5°,00 |
| 6,11 | 6,11 | 2,78 | 2,78 | 3,89 | 3,89 | 2,78 | 2,78 |
| 5,25 | 5,50 | 4,44 | 4,44 | 4,44 | 4,44 | 1,36 | 1,36 |
| 7,78 | 8,33 | 2,78 | 2,78 | 6,66 | 6,66 | 2,78 | 2,78 |
| 7,78 | 7,78 | 1,67 | 1,67 | 5,80 | 5,80 | 5,56 | 5,56 |
| 8,33 | 8,33 | 2,78 | 2,78 | 4,68 | 4,68 | 6,11 | 6,11 |
| 7,22 | 7,22 | 5,56 | 5,56 | 6,36 | 6,36 | 5,56 | 5,56 |
| 7,22 | 7,22 | 4,44 | 4,44 | 5,56 | 5,56 | 4,13 | 4,13 |

Es mufs hierbei noch bemerkt werden, dafs nach wiederholten Versuchen die innere Wärme des Thieres im Mittel etwa 1°,67 höher ist, als die auf die angegebene Weise gefundene. Dafs übrigens die Winterschläfer nicht respiriren, ist nicht blofs durch ihren Aufenthalt in mephitischen Gasarten, sondern auch durch Untertauchen unter Wasser genugsam erwiesen[1].

193) Die Eigenwärme der Menschen ist vielfach untersucht

---

1 Interessante Erfahrungen über die verschiedenen Mittel, wodurch nicht blofs die Winterschläfer, sondern die Thiere überhaupt im Winter die äufsere Kälte abzuhalten suchen, von J. Rennie findet man in Journ. of the Roy. Inst. N. III. p. 496. Ueber den Winterschlaf der Insecten, s. Suckow in Heusinger's Zeitschrift für die organische Physik. Th. I. S. 597.

worden, allein die verschiedenen Bestimmungen hierüber weichen nicht unbedeutend von einander ab, was eine Folge unrichtiger Thermometer oder nicht hinlänglich genauer Messungen seyn mufs. Dafs dabei allezeit nur von der Wärme der innern Theile, namentlich des Blutes, die Rede seyn könne, versteht sich wohl von selbst, denn die der äufsern Theile ist von unbestimmbaren Bedingungen abhängig. Einige der wichtigsten Bestimmungen sind folgende. Nach BRISSON[1] ist die menschliche Wärme 37°,37 C., nach MARTINE[2] 37°,22, welche Gröfse seitdem sehr allgemein angenommen wurde. BRAUN[3] fand im Mittel aus mehrern Beobachtungen eines im Munde gehaltenen Thermometers 36°,25 bis 36°,75, HUNTER[4] dagegen unter seiner eigenen Zunge 36°,11, im Innern des Mastdarms aber 36°,78. Wiederholte Beobachtungen an einem feinen Thermometer, welche aber mindestens 10 Minuten unter der Zunge gehalten werden mufs, um die höchste Temperatur anzunehmen, brachten WAHLENBERG[5] zu der Ueberzeugung, dafs die menschliche Wärme vermöge ihrer Unveränderlichkeit sogar zum Graduiren der Thermometer gebraucht werden könne und stets 36°,87 betrage. Mit dieser Bestimmung kommen alle weitere genauere so nahe überein, dafs der Unterschied wohl als innerhalb der Fehlergrenze liegend zu betrachten ist, denn unter andern beobachtete RUDOLPHI[6] an sich selbst sowohl in Berlin als auch in Neapel und zugleich in verschiedenen Jahreszeiten 29° bis 29°,5 R., also 36°,25 bis 36°,86 C.

194) Im weitesten Umfange hat JOHN DAVY[7] die Wärme des Menschen zu bestimmen sich bemüht, wozu ihm seine Reise nach Ceylon eine vorzüglich günstige Gelegenheit darbot. Nach einer allgemeinen Bestimmung setzt er die Eigenwärme der Menschen in Europa auf 36°,66 C., fand aber zugleich, dafs sie unter der Linie um 1° bis 1°,5 zunahm, und unter 12° südl. Br., 37°,7 C. betrug. Nachdem dieselben Menschen sich drei Wochen zwischen 30° und 35° südl. Br. aufgehalten hat-

1 Dict. rais. de Phys. art. Chaleur anim.
2 Dissert. sur la Chaleur. p. 174.
3 Nov. Comm. Petrop. T. XIII. p. 419.
4 Philos. Trans. T. LXVIII. p. 7.
5 G. XLI. 117.
6 Physiologie Th. I. S. 185.
7 Ann. Chim. et Phys. T. XXII. p. 435.

ten, war ihre Wärme bei 15° äuſserer Temperatur nicht höher als 36°,42. Zu Colombo auf Ceylon fand er die Wärme bei sechs Singalesen = 38°,23 in einer äuſsern Temperatur von 25°,11 und später die der Mestizen ebendaselbst = 38°,17, der Weiſsen = 38°,54. Später hat John Davy[1] seine sämmtlichen Beobachtungen zusammengestellt, die sich zuerst auf die veränderliche Wärme der nämlichen Menschen unter verschiedenen Bedingungen, und zweitens auf die der verschiedenen Menschenracen beziehn. Rücksichtlich des ersteren maſs er die Wärme bei verschiedenen Individuen der Schiffsmannschaft auf seiner Reise nach Ceylon vermittelst eines unter die Zunge gehaltenen Thermometers. Die Wärme, die er in Europa im Mittel zu 36°,67 C. angiebt, fand er bei 7 gesunden Individuen unter 9° 42′ nördl. Br., bei 25°,56 äuſserer Temperatur zwischen 36°,67 und 37°,45; unter 0° 12′ nördl. Br. bei 26°,32 äuſserer Temperatur zwischen 36°,87 und 37°,78; unter 23° 44′ südl. Br. bei 26°,67 äuſserer Temperatur zwischen 37°,43 und 38°,33; nach einem Aufenthalte von drei Wochen zwischen 30° und 35° südl. Br. bei einer äuſseren Temperatur von 15°,56 unter 35° 22′ südl. Br. zwischen 36°,67 und 37°,00. Um den Einfluſs eines schnellen Wechsels der äuſseren Temperatur zu ermitteln, maſs er bei den nämlichen Individuen die Wärme zuerst in Kandy, der Hauptstadt von Ceylon, und dann im Hafen zu Trincomalie, wohin sie reiseten. Jenes liegt unter 7° 17′, dieses unter 8° 34′ nördl. Br.; dort war wegen der Erhebung von 1500 Fuſs über die Meeresfläche die mittlere Temperatur 23° C., hier 28°, und so fand er dort zwischen 36°,67 und 37°,22, hier zwischen 37°,22 und 37°,66. Nach 16 Tagen müssigen Lebens zu Trincomalie fand er zwischen 36°,94 und 38°,89; nachdem sie aber zwei Tage wieder zu Kandy gewesen waren, fand er zwischen 36°,66 und 36°,94. Da die Temperatur zu Kandy stark wechselte, so untersuchte er endlich den Einfluſs dieses Wechsels bei einem Individuum, und fand

1 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVI. p. 300.

| Stunde | Temperatur der Luft | | Temperatur des Menschen | | Empfindung |
|---|---|---|---|---|---|
| 6h Morg. | 15°,83 | .... | 36°,67 | ... | Kühle |
| 9 — | 18,88 | .... | 36,39 | ... | Kälte |
| 1 Mitt. | 25,56 | .... | 36,95 | ... | Kühle |
| 4 — | 26,11 | .... | 36,95 | ... | Wärme |
| 6 — | 21,66 | .... | 37,22 | ... | Wärme |
| 11 — | 20,56 | .... | 36,67 | ... | Kühle |

Um zweitens die Eigenwärme der verschiedenen Menschenracen auszumitteln, stellte er auf dem Cap, auf Isle de France und auf Ceylon die erforderlichen Messungen an. Bei den Hottentotten fand er zwischen 35°,83 und 37°,50, wobei die beobachtete sehr geringe Wärme wohl Folge des zu kurze Zeit dauernden Versuchs seyn möchte, doch waren die Individuen, welche die geringere Wärme zeigten, sehr mager und schwächlich, drei robuste Engländer dagegen zeigten gleichzeitig zwischen 37°,22 und 37°,5. Zu Isle de France bei 23°,33 äufsere Wärme zeigten drei robuste Neger zwischen 37°,22 und 37°,5, zwei Engländer daselbst zeigten 36°,94. Bei sechs Singalesen auf Ceylon war die Wärme mit geringen Unterschieden zwischen 37°,78 und 38°,61; bei vier Albinos zwischen 38°,33 und 38°,61; bei Kindern von singalesischen Müttern und Engländern war die Wärme zwischen 37°,78 und 38°,89, bei andern, europäischer Abkunft, zwischen 38°,33 und 38°,89. Zu Suffragan auf Ceylon zeigte ein fast hundert Jahr alter Einwohner bei 22°,22 äufserer Temperatur nicht mehr als 35°, übrigens aber schwankte die Eigenwärme der Bewohner jener Insel zwischen 36°,67 und 37°,22. Auch drei Vaidas, gänzlich wilde und nackte, welche zufällig aus den Wäldern am See Bintinne nach Ceylon gekommen waren, zeigten zwischen 36°,67 und 36°,95. Genau ebenso zeigten vier Malayen bei 27°,22 äufserer Temperatur zwischen 36°,94 und 37°,22; sechs Seapoys bei 26°,67 äufserer Temperatur zwischen 36°,67 und 37°,78 und die englischen Soldaten bei ungefähr 24° äufserer Temperatur zwischen 36°,67 und 38°,33.

195) Die hier mitgetheilten Resultate geben eine sehr vollständige Uebersicht, und sie sind um so schätzbarer, weil alle durch ein Thermometer unter der Zunge erhalten wurden. Um aber die Einflüsse verschiedener äufserer Bedingungen noch

näher kennen zu lernen, wollen wir aufserdem einige andere Erfahrungen mittheilen. Nach CHISHOLM's[1] Beobachtungen auf Demerary unter 6° nördl. Br. war bei zwei eben aus England angekommenen Personen die Wärme unter den Achseln 35°,6, der Puls 98; bei zwölf länger dort anwesenden Weifsen 35°,6, der Puls 70; bei zwölf kürzlich angekommenen Negern von der Goldküste 36°,4, der Puls 98; bei zwölf länger dort anwesenden Negern 35°,8, der Puls 82; bei zwölf Creolen 36°,7, der Puls 85. Ferner war bei

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| einem weifsen Kinde von | 6 Mon. | Temp. | 37°,2 | Puls | 128 |
| — — — | — 15 — | — | 36,7 | — | 128 |
| — — — | — 30 — | — | 36,7 | — | 132 |
| — schwarzen — | — 42 — | — | 36,2 | — | 112 |
| — Mulatten — | — 4,5 Jahr | — | 36,2 | — | 112 |
| — Muslee — | — 5 — | — | 36,7 | — | 112 |
| einer Negerin | — 80 — | — | 36,7 | — | 94 |

Die mittlere Wärme von 60 erwachsenen Individuen war 36°,2, gerade wie in England. Auch DOUVILLE[2] hat auf seiner Reise in Africa viele Beobachtungen angestellt, welche zwar nicht absolut genaue Resultate geben konnten, da er die Thermometerkugel in der Hand halten liefs, doch aber wegen ihrer Vergleichbarkeit unter sich viel Interesse gewähren. Es zeigten am Morgen früh vor dem Ausgehn

| | | | |
|---|---|---|---|
| ein Weifser von | 12 | Jahren | 36°,56 |
| — Neger — | 12 | — | 39,35 |
| — Weifser — | 20 | — | 36,25 |
| — Neger — | 20 | — | 38,75 |
| Mädchen weifs — | 14 | — | 37,50 |
| — schwarz — | 14 | — | 40,31. |

Auf einer Höhe von 2150 Metern fand er im Juli folgenden Einflufs des Temperaments.

| | | |
|---|---|---|
| Ein Neger, faul und dumm von | 18 Jahren | 37°,36 |
| — — — — — — | 18 — | 37,15 |
| — — thätig — klug — | 18 — | 36,66 |
| — — — — — — | 18 — | 36,35. |

1 Biblioth. univ. T. XV. p. 159.

2 Journ. de Chim. médic. VIIIme Ann. Fevr. p. 97.

Bei Unthätigkeit im Schatten, aber auch durch Thätigkeit in der Hitze, scheint die Temperatur herabzugehn; denn er fand bei einem

| | | |
|---|---|---|
| Neger, faul und unthätig | in der Cabane . . | 37°,15 |
| — — — — | in der Sonne . . . | 40,20 |
| — thätig | in der Sonne . . . | 39,75. |

Endlich glaubt er gefunden zu haben, dafs bei den Negern, die sich früh entwickeln und selten über 40 Jahre alt werden, die Wärme mit den Jahren merklich abnimmt. Er fand bei

| | | | |
|---|---|---|---|
| einem Neger | von 15 | Jahren . . . | 40°,30 |
| einer Negerin | — 15 | — . . . . | 40,90 |
| einem Weifsen | — 20 | — . . . . | 37,80 |
| einem Neger | — 20 | — . . . . | 39,05 |
| einer Negerin | — 20 | — . . . . | 39,45 |
| einem Neger | — 25 | — . . . . | 38,85 |
| einer Negerin | — 25 | — . . . . | 38,61 |
| Neger von Loande | 54 | — . . . . | 37,91 |

196) Einen sehr schätzbaren Beitrag zur Bestimmung der menschlichen Wärme verdanken wir den Beobachtungen, welche Reynaud und de Blosseville auf der Corvette La Chevrette anstellten. Sie wurden an 12 Personen der Schiffsmannschaft 3 Stunden nach dem Essen gemacht, indem die Thermometerkugel bei verschlossenen Lippen wenigstens 15 Min. unter der Zunge blieb, die Thermometer aber waren vor und nach der Expedition auf der Sternwarte genau geprüft, und die mittlern Resultate, welche zwischen dem Maximum von 38°,2 und dem Minimum von 36°,7 liegen, zeigt folgende Tabelle.

| Zeit | Breite | Länge von Par. | Temperatur der Luft | Temperatur d. Menschen |
|---|---|---|---|---|
| 1. Juli 1827 | 10° 4′ N. | 23° 28′ W. | 26°,00 | 37°,34 |
| 11. September 1827 | 0 10 S. | 65 23 O. | 30,00 | 37,72 |
| 13. Mai 1828 | 7 1 S. | 102 41 O. | 30,80 | 37,51 |
| 30. October 1828 | 0 30 N. | 22 36 W. | 26,00 | 37,51 |
| 10. August 1827 | 36 10 S. | 26 0 O. | 17,03 | 37,01 |
| 14. October 1828 | 32 23 S. | 12 26 O. | 17,03 | 37,15 |
| 4. December 1828 | 46 0 N. | 12 0 W. | 12,02 | 37,17 |

Nach im Ganzen 77 Beobachtungen war die mittlere Wärme von 8 Individuen bei äufserer Temperatur zwischen 26° bis 30°,8 C. = 37°,58 und von den nämlichen bei einer äufsern Temperatur zwischen 12° bis 17° C. = 37°,11. Die bei Aethiopiern und Hindus gemachten Messungen sind für eine genügende Entscheidung nicht hinlänglich sicher, doch weicht die gefundene Wärme derselben von der der Europäer nicht merklich ab.

197) Nehmen wir alle diese Angaben, die sich leicht noch um viele vermehren liefsen, zusammen, so erscheint es als fraglich, ob wir die von Wahlenberg angegebene Bestimmung von 36°,87 als allgemeine Normalgröfse annehmen können, was jedoch für mittlere Breiten und ohne bedingende Nebenumstände im Mittel zulässig seyn dürfte. Eine andere sich darbietende Frage ist die, ob die menschliche Wärme in allen Theilen des Körpers dieselbe sey, was schon insofern nicht wohl der Fall seyn kann, als die Extremitäten durch Ableitung einen Verlust erleiden müssen, wenn gleich ein Thermometer unter der Zunge hinlänglich lange gehalten die Wärme des menschlichen Körpers genau genug angeben wird, obschon die des Blutes im Herzen und in den Lungen noch eine Kleinigkeit höher seyn dürfte. Wenn wir übrigens die Fehlergrenze auch möglichst grofs annehmen, so können wir doch nicht wohl umhin zuzugestehn, dafs die menschliche Wärme unter mittlern und höhern Breiten zu 36°,87 bis 37° angenommen unter dem dauernden Einflusse höherer Temperatur etwa um 1° bis höchstens 1°,5 steige, und bei den Negern 39° und selbst noch darüber erreiche. Sollten aber auch einzelne Individuen einen geringen Unterschied zeigen, so ist auf jeden Fall ihre Wärme eine constante Gröfse, die sich im Ganzen kaum einige Grade ändert. Hierüber sind gleichfalls eine Menge Beobachtungen vorhanden. Namentlich überzeugte sich Fr. Home[1], welcher die Wärmegrade mit der Zahl der Pulsschläge verglich, dafs 41°,62 das Maximum der Wärme sey, welche bei Patienten in der heftigsten Fieberhitze eintritt[2]. Ebenso

1 Medical Facts and Experiments. Lond. 1759. 8. p. 217 bis 228.

2 Ich wage nicht zu entscheiden, was von der Angabe Gavarret's zu halten sey, welcher durch Versuche gefunden zu haben behauptet, dafs ein Thermometer in der Achselhöhle beim Wechselfieber-

hoch steigt nach JOHN THOMSON[1] die Hitze des Blutes im Herzen, und dieses ist als das Maximum für den Zustand der Entzündung anzusehn. Wie weit die Temperatur in Ohnmachten herabgeht, finde ich nicht angegeben, denn die Beobachtung von JAMES CURRIE[2], in dessen Hand das Thermometer während einer Ohnmacht nach einem Aderlafs bis 28°,33 herabging, ist zu wenig entscheidend, indem hierbei das Zurücktreten des Blutes in die innern Theile von entscheidendem Einflufs seyn konnte. Aeufsere Einflüsse der Wärme und Kälte scheinen minder geeignet, die natürliche Temperatur der Menschen zu erhöhn und zu vermindern, mehr aber dürfte dieses durch den innern Zustand gröfserer Aufregung oder ungewöhnlicher Atonie geschehn. So ergeben die Versuche von W. F. EDWARDS[3], dafs die warmblütigen Thiere in kalten Jahreszeiten mehr Wärme produciren und mehr Sauerstoffgas verzehren, als in kalten. Bei neugebornen Kindern fand er eine sehr geringe Wärmeproduction; sie wird aber nach einigen Tagen schon so stark, als bei Erwachsenen. Nach den Beobachtungen englischer Aerzte[4] steigt die Temperatur in hitzigen Krankheiten sehr selten höher, als 40°,56 C. und nie über 42° C.

198) Vorzügliche Beachtung verdienen die Untersuchungen von BECQUEREL und BRECHET über die thierische Wärme, wobei sie sich des Thermomultiplicators bedienten[5]. Bei zwei Personen männlichen Geschlechts von 20 Jahren und einer ältern von 55 Jahren fanden sie die mittlere Temperatur der Muskeln 36°,77 C., übereinstimmend mit der bei verschiedenen Thieren. Diese Wärme ist etwas gröfser als die des Zellgewebes, und zwar beträgt der Unterschied, welcher aus der Abgabe an die äufsere Umgebung entspringt, etwa 1°,25 bis

---

froste 1° bis 4° C. über und in der Fieberhitze 1° bis 2° weniger als die mittlere Temperatur zeigt. S. Froriep Not. Th. XI. N. 9.

1 Lectures on Inflammation. Edinb. 1813. 8. p. 46.

2 Ueber die Wirkungen des kalten und warmen Wassers. Leipz. 1807. 2 Voll. 8. Th. II. S. 349.

3 De l'Influence des Agens physiques sur la Vie cet. Par. 1824. 8. Sect. 3.

4 Edinburgh Med. and Surg. Journ. T. XXII. p. 363.

5 Annales des Sciences naturelles. T. III. 1835. p. 257. Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1003.

höchstens 2° C., die mittlere Temperatur der Muskeln bei verschiedenen Hunden war 38°,3, erreichte aber nie 39°,48, wie DESPRETZ gefunden zu haben behauptet. Beim gesunden Hunde ist die Wärme der Brust, des Abdomen und des Gehirns die nämliche, als die der Muskeln; beim Einsenken der thermoelektrischen Nadel in das Gehirn ging dieselbe jedoch sogleich um einige Grade herab, und der Hund starb nach wenigen Minuten. Als merkwürdiges Resultat verdient beachtet zu werden, daſs die Temperatur der Muskeln sich durch verschiedene Ursachen merklich ändert, namentlich durch die Contraction, die Bewegung und die Zusammendrückung. Fällt die Contraction des Muskels mit den wiederholten Oscillationen der Nadel des Multiplicators zusammen und werden letztere dadurch vergröſsert, so nimmt man wahr, daſs die Temperatur hierdurch um 0°,5 C. wächst. Wird der Arm, in dessen Muskel die thermoskopische Nadel (aus Stahl und Kupfer) eingesenkt ist, bewegt, z. B. beim Sägen eines Bretes, so steigt die Temperatur durch den Andrang des Blutes um 1° C., wird dagegen die *arteria humeralis* stark mit dem Finger zusammengedrückt, während die thermoskopische Nadel im *biceps* oder noch besser im Muskel des Vorderarms eingesenkt ist, so zeigt sich sogleich eine Verminderung der Temperatur um einige Zehntel eines Grades. Mit einem etwas abgeänderten Apparate fanden dieselben Gelehrten nachher[1] im Fieberzustande die Wärme der Muskeln bis 3° C. erhöht, sehr entzündete Scrofelgeschwülste zeigten keine Erhöhung, Krebsschäden, so weit sie untersucht werden konnten, eine kaum merkliche Verringerung. Ebenso war die Wärme an der vom Schlage gerührten Seite nicht verschieden von der der andern. Bei einem eben verstorbenen Menschen war die Temperatur des *biceps brachialis* erst 1°,5 niedriger, nachdem die der Hand schon um 5° C. gesunken war. Durch noch weiter fortgesetzte Versuche fanden dieselben[2], daſs bei Menschen und Hunden die Wärme der Muskeln im Rhonethale und auf dem St. Bernhard keinen Unterschied zeigt. JOHN DAVY will gefunden haben, daſs im Mittel bei fünf Lämmern die Temperatur des arteriellen und venösen Blutes um 0°,74 C. ver-

---

1 L'Institut. 1835. N. 118. p. 359.

2 Ebendaselbst 1836. N. 190. p. 435.

schieden ist, bei vier Hunden fanden die erstgenannten Gelehrten aber einen Unterschied von 0°,84 und in andern Versuchen von 1°,01. Bei der Messung der absoluten Wärme der *vena jugularis* und der *arteria cruralis* fanden sie die Wärme jener 38°,0, dieser 38°,9, statt dafs John Davy einen Unterschied von 1°,1 gefunden hat. Eine kleine Entfernung vom Herzen giebt keinen merklichen Unterschied, wohl aber eine gröfsere. Bei einem welschen Hahn (*meleagris gallo-pavo*) fanden sie die Wärme des *pectoralis* 40°, des Zellgewebes unter der Haut 38°,5 und die linke Herzkammer übertraf die rechte um 0°,9 C.

199) Der Mensch kann vorzugsweise sehr hohe Grade der Hitze und Kälte ertragen, wenn er in beiden Fällen durch Bekleidung gegen zu grofse Zuleitung oder Ableitung der Wärme geschützt ist, weil sonst sein Organismus der Aufnahme der zugeführten oder der Entziehung seiner eigenen Wärme nicht genügend widersteht. Ist der Mensch ohne Schutz und Bekleidung in trockener Luft einer anhaltenden Kälte von 2° bis 6° über dem Gefrierpuncte oder im Wasser und feuchter Luft von 6° bis 10° ausgesetzt, so erliegt sein Lebensorganismus in 6 bis 12 Stunden[1]. Durch Kleider geschützt kann der Mensch in trockner Luft unglaublichen Graden der Kälte widerstehn. Die Grönländer, Lappen und Bewohner des östlichen Sibiriens ertragen oft im Freien eine Kälte unter dem Gefrierpuncte des Quecksilbers, welche selbst in Petersburg und Moskau nicht zu den grofsen Seltenheiten gehört. Am genauesten sind hierüber die Beobachtungen des Capitains Parry bei seinem Winteraufenthalte auf der Insel Melville. Der hohen Kälte ungeachtet bewegte sich die Mannschaft täglich im Freien und fand es unangenehmer und mehr afficirend, sobald bei verminderter Kälte der Wind wehete, als wenn bei den höchsten Graden derselben die Luft ruhig und trocken war, in welchem Falle eine Temperatur von — 47°,5 C. leicht ertragen und also, die natürliche Wärme zu 37°,5 angenommen, eine

1 Ein Beispiel liefert der Tod aller Menschen auf einem gestrandeten Schiffe, von denen blofs eine Frau und ein Neger erhalten wurden, die den untersten Platz im Schiffe einnehmen mufsten und bis an den Hals im Wasser standen. S. Philos. Trans. T. LXXXII. p. 199.

Temperaturdifferenz von 85° C. erzeugt wurde[1]. Wenn aber jemand bei einer solchen Kälte dem geringsten Winde entgegen ging, so empfand er ein beifsendes Gefühl im ganzen Gesichte, verbunden mit einem Schmerze mitten auf der Stirn, welcher bald sehr heftig wurde. War jemand dem Einflusse dieser Kälte mehrere Stunden oder einen ganzen Tag ausgesetzt, wie sich zuweilen bei Verirrungen auf der Jagd ereignete, so erzeugte dieses den Zustand der Betäubung, welcher völlig dem der Berauschung glich, indem die auf solche Weise Afficirten irre redeten, bis sie in wärmerer Umgebung wieder hergestellt waren. Parry versichert, er würde einige Individuen in dieser Lage für berauscht gehalten haben, wenn er nicht vom Gegentheil bestimmt überzeugt gewesen wäre, und er glaube, dafs oft in ähnlichen Fällen Trunkenheit bestraft worden sey, wo es nur Betäubung durch Kälte war.

200) Die warmblütigen Thiere können dauernd nicht in einer Temperatur leben, welche ihre natürliche übersteigt; kleinere Thiere sterben in einer solchen bald, mit gröfsern Thieren lassen sich nicht wohl Versuche hierüber anstellen, Menschen aber ertragen kurze Zeit eine Wärme, welche selbst die Siedehitze des Wassers übersteigt. Boerhave[2] stellte den Satz auf, der Mensch und überhaupt die warmblütigen Thiere seyen aufser Stande, auch nur während einer unbedeutend langen Zeit eine höhere Temperatur, als die der Blutwärme, zu ertragen. Als diesemnach Fahrenheit und Prevost einen Hund und eine Katze in einer Trockenstube für Zucker einer Hitze von 63°,44 C. aussetzten und diese nach 28 Minuten starben, wurde die Meinung angenommen, dafs es für warmblütige Thiere überhaupt unmöglich sey, einen Hitzegrad über die Blutwärme auszuhalten. Allein im J. 1748 fand Linings[3] zu Charlestown die Hitze in der Sonne 51° C., Adanson[4] am Senegal in den heifsen Nächten 32°,5, am Tage 40°, im Sande an der Sonne 75°, in der Cajüte auf dem Strome während der Nacht 37°,5 bis 40°, am Tage 50° bis 56°, und doch hielten die Menschen dieses aus; Gmelin[5] fand die Temperatur

1 Parry's zweite Reise. D. Ueb. S. 245 u. 187.
2 Elem. chem. L. B. 1732. T. I. p. 275. T. II. p. 353.
3 S. Philos. Trans. 1748. p. 336.
4 Hist. natur. du Sénégal. Par. 1757. 4. p. 53 ff.
5 Flora Sibirica. T. I. praef. p. 81.

der russischen Dampfbäder 42°,25 bis 46°,25, und Ellis[1] berichtete aus Savannah, dafs ein unter einem Schirme getragenes Thermometer 40°,44 zeigte, gegen seinen Körper gehalten aber auf 35°,88 herabging. Deswegen stellte Arn. Duntze[2] abermals Versuche mit kleinen Thieren an, welche aber in einer Wärme von 45° starben und auf etwas längere Zeit nicht mehr als 40° bis 42°,5 auszuhalten vermochten. Gegen die hieraus gezogenen Folgerungen entschied eine Beobachtung von Tillet[3] und Duhamel, welche im J. 1760 eine Bäckerstochter 12 Minuten in einem Backofen verweilen sahn, dessen Hitze mit einem Weingeistthermometer auf 128°,75 C. geschätzt wurde; der Erstere wiederholte daher die Versuche abermals mit kleinen Thieren, welche aber nur kurze Zeit in 62° bis 75° aushielten und etwas länger, wenn sie in Leinen eingenäht waren. Dennoch berichtete Dobson[4], dafs er gesehn habe, wie mehrere Personen eine Hitze von 94° bis 106° C. etwa 10 bis 12 Min. ertrugen, wobei ihre Eigenwärme bis 48° stieg und ihr Puls 145 Schläge hatte.

201) Nach diesen einander widersprechenden Erfahrungen wählten endlich im J. 1775 Fordyce, Banks, Blagden, Dobson und Solander das zweckmäfsigste Mittel zur Entscheidung dieser zunächst in Beziehung auf die Menschen aufgeworfenen Frage, indem sie sich selbst höhern Hitzegraden aussetzten[5]. Fordyce liefs Zimmer durch Wasserdämpfe heizen, und in diesen hielt er aus 5 Min. in 32°,5; 10 Min. in 43°,75; 20 Min. in 48°,75; 15 Min. in 55° C. Hitze, ohne Vermehrung seiner Wärme, aber mit Beschleunigung seiner Pulsschläge bis zur Zahl von 145 in einer Minute. Einige von ihnen, durch die ersten Versuche dreist gemacht, ertrugen nachher 20 Min. 66°,25; 10 Min. 92°,5; Solander allein 7 Min. 98°,75; Banks 7 Min. 99°,35 und Blagden 7 Min. 126°,68, ein Hund endlich ertrug 30 Min. 100 bis 112°. In den von

1 Philos. Trans. T. L. p. 755.

2 Dissert. compl. varia exper. calorem animalium spect. L. B. 1754. 4.

3 Mém. de l'Acad. 1764. p. 186.

4 Phil. Trans. 1775. T. LXV. P. II. p. 463.

5 Philos. Trans. T. LXV. p. 111 u. 484. Ueb. in: Versuche über d. Vermögen d. Pflanzen und Thiere, Wärme zu erzeugen und zu vernichten. Von L. v. Crell. Helmst. 1778. 8.

Fothergill angestellten Versuchen ertrug Einer eine Hitze von 94°,5, wobei sein Puls von 65 auf 120, seine Wärme auf 37°,5 stieg; ein Anderer ertrug 20 Min. 99°, während sein Puls von 75 auf 164 und die Blutwärme auf 42° stieg, ein Dritter endlich, bei welchem der Versuch Ermattung und endlich Erbrechen verursachte, ertrug 10 Min. 106°,5, während sein Puls von 80 auf 145, die Blutwärme auf 42° stieg. Spätere Beobachtungen stimmten vollkommen darin überein, dafs der Mensch einige Zeit eine die Blutwärme weit übersteigende Hitze zu ertragen vermag. Von natürlicher Hitze erzählen dieses Ellis[1], Tuckey[2], Haafner[3] und Andere, Rudolphi[4] empfand keine Beschwerden in den Dampfstuben am See Avignano bei Neapel bei 43°,75 Temperatur, noch auch Fried. Gregorius[5] in den Berliner Dampfbädern bei 50° bis 62° C., wobei ihre Eigenwärme um 3° bis 4° vermehrt wurde.

Die neuesten, sehr werthvollen Versuche, wodurch man diese Aufgabe als erledigt betrachten kann, sind von De la Roche und Berger[6]. Die stärkste Hitze ertrugen sie in trocknen Stuben und mit einem leinenen Schirme gegen die Strahlen der Wärme geschützt. Hier hielten sie 8 Min. in einer Temperatur von 87°,5 bis 90° aus, anfangs mit einer unangenehmen Empfindung, nach dem Ausbruche des Schweifses aber mit einem solchen Gefühle von Schwäche, dafs sie weggehn mufsten. Nachher ertrugen sie nochmals kurze Zeit eine Hitze von 109°,35 C., empfanden ein heftiges Brennen gegen das Gesicht, geriethen in starken Schweifs und konnten ihren Puls wegen Schnelligkeit nicht zählen, waren aber dennoch nach 45 Minuten wieder in ihrem natürlichen Zustande. Durch Wasserdämpfe erzeugte Hitze fanden sie viel unerträglicher,

---

1 Philos. Trans. T. L. p. 755.

2 Relation d'une expédition pour reconnaître le Zaire. Trad. de l'Angl. Par. 1818. 8. T. I. p. 84.

3 Dessen Reise.

4 Physiologie Th. I. S. 193.

5 Dissert. de Sudationibus Rossicis. Berol. 1819. 4.

6 Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale. Par. 1806. Journ. de Phys. T. LXIII. p. 207. LXXI. p. 289. Zum Theil in Nicholson's Journ. N. 72, daraus in Bibl. Brit. T. XXXVI. p. 142.

als die trockne, auch brachte jene eine viel gröfsere Verminderung ihres Gewichtes durch Ausdünstung hervor, als diese. Bei kleinen Thieren brachten 62°, ja sogar 56° schon den Tod hervor, wobei ihre eigene Wärme meistens die der Umgebung überstieg. Noch weiter kann man es durch Schutzmittel gegen die Zuleitung der Wärme bringen. Ein gewisser MARTINEZ blieb 14 Min. in einem Ofen, worin das Thermometer 170° C. zeigte. Sein Puls hatte vorher 76, nachher 136 Schläge. Hernach hielt er noch 7 Min. in 152° aus. Er bekleidete vorzüglich den Kopf mit vielem Wollenzeuche und stürzte sich nach dem Herauskommen in kaltes Wasser. Der Versuch erschöpft sehr und kann wöchentlich nur einmal angestellt werden[1].

202) Die Ausdünstung ist ein vorzügliches Hülfsmittel, so grofse Hitzegrade erträglich zu machen, indem die Eigenwärme dadurch gehindert wird, bedeutend über ihre normale Gröfse zu steigen. Aus dieser Ursache wird heifses Wasser weit weniger leicht ertragen, eine längst bekannte Wahrheit, die aber neuerdings dadurch wieder zur Sprache gebracht worden ist, dafs Marschall MARMONT zu Brussa einen Türken gesehn zu haben berichtet, welcher in einem Bade von 78° C. lange Zeit verweilte[2], und dafs er auch dann bei seiner Aussage beharrte, als ihm verschiedene andere Erfahrungen entgegengesetzt wurden. Nach NEWTON soll man Wasser von 50° Wärme an der Hand ertragen, wenn man sie ruhig hält, sber nur von 42°, wenn man sie bewegt. Die genannten englischen Aerzte, welche eine so grofse Hitze in trockner Luft ertrugen, konnten in Quecksilber nur 47°, in Wasser 50°,5, in Oel 54° und in Alkohol 54°,5 C. aushalten; Dr. CARRÈRE, ein rüstiger Mann, konnte in den warmen Bädern von Roussillon, deren Wärme 50° C. beträgt, nur drei Minuten verweilen, LEMONNIER ertrug zu Barèges Wasser von 38° ohne grofse Umbequemlichkeit, von 45° aber nur acht Minuten, weil er roth wurde und anschwoll und eine Betäubung ihn nöthigte, das

---

1 La Clinique. 1828. N. 82.

2 Das Mineralbad zu Kukurkli soll 84° C. und das zu Yeni-Kaplidja 64° C. haben. Uebrigens steht MARMONT's Beobachtung mit der Theorie und vielen Erfahrungen so sehr im Widerspruch, dafs sie vor der Hand noch als zweifelhaft gelten mufs.

Bad zu verlassen. Endlich setzt Dr. Berger 42° C. als das Maximum der Temperatur eines Bades aus reinem Wasser, welches der Mensch zu ertragen vermag[1]. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt übrigens nicht fern; in der Luft, vorzüglich in der trocknen, wird stets etwas Wärme durch Verdunstung entzogen, im Wasser aber die erzeugte durch zugeführte vermehrt.

203) Die Quelle der thierischen Wärme liegt dem Anschein nach zunächst im Blute, denn sie wird durch dieses im ganzen Körper verbreitet; diejenigen Theile sind die wärmsten, welche den stärksten Zuflufs des Blutes haben, die Extremitäten aber sind am kältesten, auch kälter und absterbend, wenn das Blut aus ihnen zurücktritt[2]. Woher aber das Blut stets aufs Neue diese Wärme nehme, darüber sind die Meinungen allezeit sehr verschieden gewesen. Hippokrates[3] und Galenus[4] legten dem Herzen eine natürliche, angeborene Wärme bei, welche sich von hier aus durch den ganzen Körper verbreite. Ihnen folgte Cartesius[5], und noch kürzlich meinte Caldani[6], die Wärme werde angeboren, erbe von der Mutter auf das Kind, und es sey daher blofs ihre Erhaltung zu erklären. Dafs solche Phantasieen keiner Widerlegung bedürfen, versteht sich von selbst. Die besser unterrichteten Physiologen der spätern Zeit theilten sich in zwei Schulen, die mechanische und die chemische, und beide suchten ihre Hypothesen zu vertheidigen.

204) Die *mechanische Schule* suchte die Ursache der thierischen Wärme in der Bewegung des Blutes und der Reibung desselben an den Wandungen der Gefäfse. Anhänger dersel-

1 Aus Compte rendu 1836. T. I. p. 211 in Poggendorff's Ann. XXXVIII. 479.

2 S. John Davy in Phil. Trans. 1814. P. II. p. 598.

3 De Diaeta L. I. Tract. de corde.

4 De usu partium L. VII. c. 9. 21. De Temperamentis. L. II. c. 3.

5 De Homine. p. 5. De formatione foetus. p. 197.

6 Mem. di matem. e di fisica T. XIII. p. 296. Die ältern Anhänger einer angebornen Wärme, als Th. Bartholinus de flammula cordis 1667, Schelhammer de febres curandi methodo. 1693. S. II. §. 33 und Apinus in Fascic. Diss. acad. 1718. p. 14, übergehe ich mit Stillschweigen.

ben waren unter andern Boerhave[1], Martine[2] und Van Swieten[3], welche ihre Meinung vorzüglich auf das Argument gründeten, dafs die Bewegung des Körpers die Wärme bedeutend vermehre und im Winter einziges Mittel zur Erhaltung derselben sey; sie werde ferner durch vermehrten Pulsschlag gröfser, sey daher im hohen Alter geringer, im mittleren wegen gröfserer Festigkeit der Gefäfse am gröfsten, und bei den warmblütigen Thieren, ungeachtet der ungleich weiten Gefäfse, nahe gleich, weil sie im geraden Verhältnifs zur Geschwindigkeit der Bewegung und im umgekehrten der Weite der Gefäfse stehe.

Gegen diese Hypothese wurden verschiedene Einwendungen gemacht, indem man namentlich zeigte, dafs alle Arten Flüssigkeiten bei noch schnellerer Bewegung und ungleich stärkerer Reibung gar nicht erwärmt würden. Aufserdem ist die Wärme der Zahl der Pulsschläge keineswegs proportional, denn diese steigen leicht auf das Doppelte, ohne mefsbare Vermehrung jener, und praktische Aerzte[4] wollten bei Fiebern sogar Verminderung der Wärme bei Vermehrung der Pulsschläge gefunden haben. Hunter[5] findet einen gewichtigen Gegenbeweis in dem Umstande, dafs auch solche Thiere der Kälte widerstehn, in denen kein Kreislauf des Blutes statt findet. Dennoch suchte Robert Douglas[6] die Hypothese zu vertheidigen, indem er annahm, die Reibung finde hauptsächlich zwischen den Blutkügelchen statt und gäbe im Sommer geringere Wärme wegen der Erweiterung der Gefäfse durch äufsere höhere Temperatur. Brisson[7] zeigt hiergegen sehr gründlich, dafs die angenommene Zusammenziehung der Gefäfse im Winter durch Kälte und dadurch vermehrte Reibung keinen Sinn habe, weil die Gefäfse, im Winter wie im Sommer, stets wär-

---

1 Institut. rei med.

2 De animalibus simil. et de animalium calore Libb. II. Lond. 1740. 8.

3 Comment. in Boerhavii Aphor. P. II. §. 675.

4 A. R. Martin in Schwed. Abh. Th. XXVI. S. 209. Haen Ratio medendi. 15 T. ed. alt. Vind. 1760. 8. T. XI. p. 168.

5 Philos. Trans. T. LXV. P. II. n. 43.

6 Essay sur la génération de le chaleur des animaux. Trad. de l'Angl. Par. 1751. 8.

7 Dict. rais. de Phys. Art. Chaleur anim.

mer als die äufsere Temperatur seyen; auch führt v. HALLER[1] an, dafs die Gefäfse bei Fischen und Fröschen am engsten sind, diese daher die gröfste Wärme haben müfsten, da noch obendrein die Zahl der Pulsschläge bei letzteren fast doppelt so grofs ist, als bei Ochsen. Aus eben diesen Gründen ist auch die von FRYER[2] aufgestellte Hypothese, wonach die thierische Wärme durch das Reiben der festen Bestandtheile des stets bewegten Körpers erzeugt werden soll, ganz unhaltbar.

205) Die *chemische Schule* dagegen leitete früher die thierische Wärme aus Gährungen und Effervescenzen ab, welche aus der Mischung der Säfte und des Blutes entstehen sollten. Dieser Ansicht waren WILLIS[3], VIEUSSENS[4], ETTMÜLLER[5], v. HELMONT[6], SYLVIUS[7], BAZZICALUVE[8], STEVENSON[9] und Andere[10]. Den unmittelbar sich aufdringenden Einwurf, dafs man am Blute gar keine Gährung wahrnehme, suchte HOMBERG[11] durch Erfahrungen zu widerlegen, welche bewiesen, dafs das Aufbrausen mancher Mischungen erst beim Zutritt der Luft bemerkbar würden. CROMWELL MORTIMER[12] glaubt, die Gährung entwickele Luft aus dem Blute und diese setze das Feuer in Bewegung. HAMBERGER[13] kam indefs wieder auf die Gährungen zurück, welche durch die Verbindung von schwefelartigen und laugenartigen Theilen entstehen sollten und der Wärmeentbindung in Taubenmist, feuchtem Heu und andern

1 De partium corp. hum. fabrica et functionibus. Bernae et Laus. 1778. 8. T. IV. L. VI. sect. 3. §. 8.

2 Diss. cogitationes quasd. phys. de vita anim. et veget. complectens. L. B. 1785.

3 De fermentatione c. 5. De febribus cap. 2.

4 De remotis et proximis mixti principiis Cap. 15. 16.

5 Opera medica. 1696. p. 72.

6 Opera omn. 1682. p. 734.

7 Disput. med. Disp. X. §. 54.

8 Novum systema medico-mechanicum. 1701. 4. p. 12.

9 Medic. Bemerk. von einer Ges. zu Edinburg 1752. Th. V. S. 1099.

10 Vergl. SPRENGEL pragm. Gesch. d. Arzneikunde. Th. IV. Abschn. 13.

11 Mém. de Paris. 1709.

12 Philos. Trans. N. 464. Ueb. in Hamb. Mag. Th. I. S. 291.

13 Physiologia medica. Jen. 1751. 4. p. 24.

Selbstzündern ähnlich seyen. Auch RIGBY[1] nähert sich dieser Idee, indem er den Sitz der Gährungen hauptsächlich in der Gegend des Magens annimmt und somit die Ursache der Wärmeerzeugung auf die Mischung des Chylus mit dem Blute zurückführt. Selbst später noch kam STRNADT[2] auf diese ältere Meinung von Gährungen und Effervescenzen zurück, als die Physiologen vollkommen überzeugt waren, dafs durch die Mischung der Säfte und des Blutes weder Gährung noch Fäulnifs entsteht, so dafs die ganze Hypothese daher keiner weiteren Widerlegung bedarf.

206) STAHL[3] will schon seit 1684 die Idee gehegt haben, dafs die Wärme durch die Respiration in den Lungen erzeugt werde, wofür die vollkommen ausgebildeten Lungen bei den warmblütigen Thieren, insbesondere den Vögeln, entscheiden. Eine Verdichtung des Blutes in den Lungen und dadurch entstehende Erwärmung hatten schon BOERHAVE, HALES, ARBUTHNOT u. A. angenommen, setzten aber der unmittelbaren Empfindung nach voraus, dafs die Luft dasselbe wieder abkühle. Ueber die eigentliche Art, wie durch Athmen Wärme erzeugt werde, war man nicht einig, indem nach PRIESTLEY[4] die ausgeathmete Luft unter die phlogistisirten gehören, mithin Phlogiston oder Brennstoff aus dem Körper ausführen, nach SCHEELE[5] die sogenannte reine Luft vielmehr Brennbares in den Körper bringen sollte. LESLIE[6] mit mehreren Andern schlofs sich dieser Meinung an, mit der Modification, dafs das Phlogiston in allen feinen Blutgefäfsen ausgeschieden und dadurch Wärme erzeugt werde. Hierdurch entledige sich, wie man glaubte, der Körper der Menge des sonst zerstörend wirkenden Phlogistons, welches durch die Nahrungsmittel in denselben komme.

---

1 An Essay on the Theory of the production of animal Heat. Lond. 1785.

2 Mayer's Sammlung phys. Aufsätze, bes. die böhmische Naturgesch. betr. Dresd. 1791.

3 Theoria medica. p. 288.

4 Exper. and observ. on different kinds of air. T. I. sect. 4. T. III. sect. 5. Exper. and Observ. relating to various branches of nat. philos. Sect. XXXIX. N. 9.

5 Chem. Abhandl. von Luft u. Feuer. Ueb. von H. LEONHARDI. Leipz. 1782. 8.

6 A philos. Inquiry into the cause of animal heat. Lond. and Edinb. 1778. 8. In Leipz. Samml. Th. II. S. 97.

207) Bei diesen herrschenden, sehr vagen Ansichten mufste Adair Crawford's[1] Theorie mit grofsem Beifalle aufgenommen werden, und ihr Ansehen erhielt sich auch, einiger Gegner ungeachtet, sehr lange Zeit. Hiernach verbindet sich in den Lungen die reine Luft mit dem Phlogiston und es wird fast der sechste Theil derselben in Wasserdampf, das Uebrige in fixe Luft verwandelt. Es ist aber die specifische Wärme der reinen Luft = 4,75, des Wasserdampfes = 1,5, der fixen Luft = 1,05, wodurch also ein grofser Ueberschufs von Wärme dem Blute in den Lungen mitgetheilt werden mufs. Indem das Blut diese aufnimmt und sich im Körper verbreitet, giebt es sie gegen Aufnahme des Phlogistons wieder ab, wie sich auch aus der specifischen Wärme des arteriellen und venösen Blutes = 57 zu 55 nach seinen Versuchen an Hunden bestätigte. Die Beständigkeit der Blutwärme erklärte er mit Leslie übereinstimmend aus dem durch Verdunstung entstandenen Verluste, nicht aber mit Blagden[2] aus einer Kälte erzeugenden animalischen Kraft.

208) Diese Theorie, obgleich sehr allgemein mit grofsem Beifalle aufgenommen, wurde zugleich wechselseitig bestritten. Zuerst machte Morgan[3] Einwendungen gegen die angestellten Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme der verschiedenen Luftarten, welche allerdings anfangs auffallend unrichtig angegeben waren. Auch Eduard Fryer[4] zog die Richtigkeit dieser Bestimmungen, welche Crawford selbst später als zu grofs erkannte, in Zweifel, hauptsächlich aber zeigte Thomson[5] gegen Dalton[6], welcher diese Theorie abermals hervorgehoben hatte, dafs nach den Bestimmungen der spec. Wärme der Gase von Laroche und Berard sie ganz unhaltbar sey, indem hiernach nicht so viel Wärme entstehen könne, als erfordert werde, um die geathmete Luft allein auf die Blutwärme

---

1 Experiments and Observations on animal heat. Lond. 1779. 8. sec. edit. 1788. Versuche u. Beob. über thierische Wärme und die Entzündung brennbarer Körper. Leipz. 1785. 2te verm. Aufl. auf Veranstaltung des v. Crell. Leipz. 1789. 8.

2 Philos. Trans. T. LXXI. P. II.

3 Crawford a. a. O. Deutsche Uebers. 1785. S. 175.

4 Dissert. de vita anim. et vegetantium. L. B. 1785. 8.

5 Ann. of Philosophy. T. I. p. 461.

6 Manchester Mem. 1813. T. II. p. 484.

zu erheben; Gren[1] aber gründete seine Zweifel darauf, dafs die Theile des Körpers, welche das Phlogiston aufnehmen, hierdurch in gleichem Grade an Wärmecapacität zunehmen müfsten, wonach also die ganze Wirkung durch sich selbst wieder aufgehoben würde. Er selbst leitete daher anfangs die animalische Wärme aus der Verdauung her, eine Theorie, welche unter Andern auch Eduard Rigby[2] aufstellte und mit einer Menge aus dem Zusammenhange der Verdauung mit der Erzeugung und Erhaltung der thierischen Wärme leicht aufzufindender Gründe unterstützte. Als Anhänger dieser Hypothese dürfen auch John Hunter[3] und Hermbstädt[4] genannt werden. Nach Letzterem zerlegen die Nahrungsmittel im Magen das Wasser, rauben ihm den Sauerstoff und machen dadurch Wärme frei. Man kann hiergegen indefs einfach erinnern, dafs es hiernach gar keine kaltblütigen Thiere geben könne, indem der Magen das allgemeinst vorhandene Organ in der Thierwelt ist. Auch Dr. Stevenson[5] hegte im Allgemeinen die Meinung, dafs die animalische Wärme aus der Verdauung entspringe, und der berühmte Franklin[6] sagte, das Feuer sowohl, als auch die Luft würden von den Pflanzen bei ihrem Wachsthum angezogen, verdichteten sich in ihnen und machten einen Theil ihrer Substanz aus. Bei der Verdauung und Assimilation ihrer Theile mit dem thierischen Körper, dem sie zur Ernährung gedient hätten, werde beides wieder frei und theile sich diesem mit. Der so nahe liegende Einwurf, welcher von den fleischfressenden Thieren hergenommen werden mufs, denen hiernach die aus den vegetabilischen Nahrungsmitteln hervorgehende Wärmequelle fehlen müfste, scheint hierbei übersehen oder dadurch beseitigt worden zu seyn, dafs man annahm, es finde im ganzen Körper der grasfressenden

1 Dessen Journ. der Phys. Th. I. S. 5 u. 189. Später trat derselbe der Theorie Lavoisier's bei. S. Syst. Handb. d. Chemie. 1794 — 96. 4 Bde. 8. Th. II. §. 1674.

2 Essay on the production of animal heat cet. Lond. 1785. Lichtenberg's Mag. Th. IV. St. 4. S. 82.

3 A Treatise on the blood cet. Publ. by E. Home. Lond. 1794. p. 291.

4 Plenck Hygrologie d. menschl. Körpers. Ueb. von Davidson. Herausg. von Hermbstädt. Berl. 1796. S. 40.

5 Edinburgh medical Essays. T. V. art. 77.

6 Exper. and Observations on Electricity. p. 346.

Thiere eine stete Wärmeerzeugung statt und gehe von diesem an die fleischfressenden über. Unbefriedigt läſst gleichfalls die Hypothese Castberg's[1], als deren Anhänger Skjelderup[2] und mit einiger Beschränkung auch Sprengel[3], Autenrieth[4] und Reil[5] gelten können, wonach die Wärme aus den Nahrungsmitteln durch ihre Verdickung im thierischen Körper entstehn soll, denn Treviranus[6], welcher diese Ansicht im Allgemeinen mit Recht bezweifelt, zeigt deutlich, daſs sie in specieller Beziehung auf den Zustand der Auszehrung als durchaus unzulässig zu verwerfen sey. Ganz unbefriedigt läſst aber Mortimer's[7] Hypothese, wonach die stete Verbindung des in den thierischen Flüssigkeiten enthaltenen Phosphors mit der Luft die animalische Wärme frei machen soll. Ueberhaupt läſst sich leicht zeigen, daſs zwar der Verdauungs- und Assimilationsproceſs der Nahrungsmittel, als den Lebensproceſs im Allgemeinen unterstützend und befördernd, die Erzeugung der normalen Wärme unzweifelhaft bedingt, jedoch nicht als einzige oder erste Ursache und nur in einem untergeordneten Grade mitwirkend; denn beide Processe sind bei vielen kaltblütigen Thieren mindestens ebenso stark, als bei warmblütigen, z. B. bei den Larven der Schmetterlinge, welche so viel verdauen und dennoch kalt sind, wogegen die Schmetterlinge selbst, bei weniger Nahrung, eine gröſsere Wärme besitzen[8].

209) Unter den Gegnern Crawford's möge endlich noch Leop. Vacca Berlinghieri[9] genannt werden, welcher durch Rechnung zeigte, daſs der in der eingeathmeten Luft enthaltene Wasserdampf vermöge seiner groſsen Wärmecapacität allein mehr Wärme erfordere, als die gröſsere specifische der reinen Luft betrage, und zwar in einem solchen Maſse, daſs hiernach

1 Rafn's Biblioth. for Physik, Medicin og Oekonomie. T. XVIII. p. 76.

2 Dissert. de vi frigoris incitante.

3 Instit. med. T. II. p. 121.

4 Handbuch d. Physiologie 1801. Th. I. S. 351.

6 Archiv für Physiol. Th. I. H. 3. S. 100.

6 Biologie. T. V. p. 57.

7 Philosophical Transact. N. 476.

8 Vergl. Rudolphi Physiologie Th. I. S. 191.

9 Esame della teoria del calore del cel. Inglese Crawford cet. Pisa 1787. 4.

vielmehr Kälte bis zum Gefrieren des Quecksilbers durch den Athmungsprocefs entstehn müsse. Allerdings ist unverkennbar, dafs Crawford's Theorie in dieser ältern Form zur Erklärung des fraglichen Problems nicht genügt, inzwischen darf nicht vergessen werden, dafs er der Erste war, welcher der herrschenden Ansicht zuwider aus dem Einathmen der Luft keine Abkühlung, sondern vielmehr eine Wärmeerzeugung ableitete. In der spätern Auflage seiner Schrift modificirte er seine Hypothese so, dafs sie sich mehr der antiphlogistischen Theorie anschlofs, indem er die Ursache der erzeugten Wärme in die geathmete reine Luft setzte, welche hierbei, wie beim Verbrennen und Verkalken, wirke und Phlogiston wegführe.

210) Lavoisier[1] erklärt den Ursprung der thierischen Wärme übereinstimmend mit der nach ihm benannten *antiphlogistischen Theorie*. Hiernach ist das Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft die eigentliche Quelle der erzeugten Wärme, indem der Kohlenstoff in den Lungen durch dasselbe gesäuert wird und also gleichsam verbrennt. Um diesen Satz durch Versuche zu prüfen, mafs er in Verbindung mit Laplace vermittelst seines Calorimeters die Wärme, welche ein Meerschweinchen während der Erzeugung von 224 Gr. kohlensauren Gases abgab, verglich sie mit der durch Verbrennung von Kohle bis zur Bildung einer gleichen Quantität Kohlensäure hervorgebrachten und fand, dafs jene 13 Unzen Eis, diese dagegen nur 10,4 schmolz. Man darf also mit Rücksicht auf die bedingenden Nebenumstände annehmen, dafs durch diese Versuche und die seitdem bestimmt ausgemittelten Gesetze der Verbrennung die Quelle der thierischen Wärme aufgefunden sey, insbesondere wenn man dasjenige berücksichtigt, was oben über Wärmeerzeugung durch Chemismus beigebracht worden ist[2]. Als einen vorzüglichen Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese hat man oft die gröfsere Röthe des arteriellen Blutes in Vergleichung mit dem venösen angeführt, wodurch ein höherer Grad der Säuerung dargethan würde. Mit Uebergehung

---

1 Mém. de l'Acad. 1777. p. 590.

2 Vergl. Klügel's Encyklop. Th. II. S. 471. Girtanner in Journ. de Phys. 1790. Juin. p. 422. Ueb. in Gren's Journ. d. Phys. Th. III. S. 317 u. 507. Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie. Berl. 1792. S. 236 ff.

mancher früherer Behauptungen mag es genügen, die Resultate der genauen Untersuchungen JOHN DAVY's[1] über diesen Gegenstand hier zu erwähnen. Dieser fand erstlich keinen wesentlichen Unterschied der Wärme des Venen- und des Arterienblutes, außer was vom specif. Gewichte herrührt. Inzwischen ist das Arterienblut etwas wärmer, und auch die linke Seite des Herzens mehr als die rechte. Zweitens aber nimmt die Temperatur mit der Entfernung vom Herzen ab. Hiernach ist er mit BLACK der Ansicht, daß die Wärme in den Lungen erzeugt werde.

211) Diese im Wesentlichen genügende Theorie ist seit ihrer Bekanntwerdung mit verschiedenen bald mehr bald weniger bedeutenden, mitunter ganz nichtigen Gründen bestritten worden. Einige setzten ihr entgegen, daß die Häute der Lungen für Luft undurchdringlich seyen und das Sauerstoffgas daher gar nicht zum Blute gelangen könne. Inzwischen dringt dieses Gas bekanntlich selbst durch die dicksten Rindsblasen[2], um so mehr also durch die dünnen Häutchen der Lungen. Es ist indeß eine ganz falsche Vorstellung, wenn man die Lungen gleichsam als den Heerd der Verbrennung und die gesammte entstehende Wärme als unmittelbares Product dieses Processes betrachtet. Vielmehr hat VAN MONS[3] gründlich gezeigt, daß das Sauerstoffgas zwar dem Blute in den Lungen mitgetheilt werde, die Zersetzung desselben aber in den feinern Gefäßen des ganzen Körpers geschehe[4]. Hiernach hält er die thierische Wärme für ein Product der Lebensthätigkeit und setzt sie dieser letztern allezeit proportional, welches mit der Ansicht G. F. PARROT's[5] übereinstimmt, daß das Fieber ein wärmeerregender Proceß sey und die Temperatur auch wirklich erhöhe. Noch mehr modificirt und näher bestimmt ist diese Ansicht durch MADAI[6], DARWIN[7] und vorzüglich HILDEBRANDT[8],

---

1 Philos. Trans. 1814. p. 590.

2 Vergl. *Adhäsion*. Bd. I. S. 200.

3 Théorie de la combustion. Brux. 1802. p. 77. Journ. de Phys. T. LXVIII. p. 121.

4 Vergl. BRANDIS über die Lebenskraft. S. 74.

5 Ueber den Einfluß der Physik u. Chemie auf die Arzneikunde. Dorpat 1807. 4.

6 Reil Archiv für die Physiol. Th. III. S. 110.

7 Ebendaselbst. S. 26.

8 Lehrbuch d. Physiologie. 2te Aufl. §. 530.

nach welchem Letzteren insbesondere alle aus dem Blute gebildete festere Theile mehr Sauerstoff enthalten, als das Blut selbst, so dafs also hiernach durch alle feste Theile dem Blute Sauerstoff entzogen, seine Capacität dadurch vermindert und somit die Wärme vermehrt wird. Hiernach ist es unzulässig, die Menge der erzeugten Wärme nach Crawford und Suckow[1] blofs auf die specifische Wärme des verzehrten Sauerstoffgases und der gebildeten Kohlensäure zurückzuführen. Nach Letzterem ist in Beziehung auf das Volumen die specifische Wärme des Sauerstoffgases = 4,749 und des kohlensauren Gases = 1,045, so dafs also bei der neuen Verbindung ein Ueberschufs von 3,704 bleiben würde, allein nach den genauern Bestimmungen von De la Roche und Berard[2] sind diese, das Volumen genommen, = 0,9765 und 1,2583, so dafs also vielmehr Kälte entstehn müfste. Diese Betrachtungen haben auch verschiedene Gelehrte, z. B. Le Gallois[3], Buntzen[4], Nasse[5] und Andere bewogen, diese sonst gangbare Theorie zu bezweifeln; allein hierzu ist durchaus kein genügender Grund vorhanden, da oben nachgewiesen worden ist, dafs sich die durch Verbrennungsprocesse erzeugte Wärme nicht allezeit aus den specifischen Wärmecapacitäten der verzehrten Gase, namentlich des Sauerstoffgases, ableiten läfst, und dennoch ist auf keine Weite zu bezweifeln, dafs die freiwerdende Wärme ein Erzeugnifs der Verbrennung sey, letztere gehört aber ebenso gewifs unter die Classe der chemischen Verbindungen, deren viele, ja wohl die meisten, gleichfalls Wärme erzeugen. Sofern daher die Säuerung des Blutes durch das Athmen die auffallendste Aehnlichkeit mit einem langsamen Verbrennen hat, die Functionen des thierischen Lebens aber sich zum grofsen Theile auf Chemismus zurückführen lassen, so müssen wir um so mehr in der Bildung der Kohlensäure aus dem geathmeten Sauerstoffgas und den zum Chemismus gehörigen Functionen des thierischen Or-

1 Anfangsgründe der Physik u. Chemie nach den neuesten Entdeckungen. 2 Th. 8. Th. I. S. 365.

2 Journ. de Physique T. LXXVI. p. 155. Vergl. unten §. 386.

3 Le sang est-il identique dans touts les vaisseaux qu'il parcourt? Par. 1802. p. 44.

4 Beitrag zu einer künftigen Physiologie. Kopenhagen 1805. S. 40.

5 Reil's u. Autenrieth's Archiv. Th. XII. S. 409.

ganismus die Ursache der thierischen Wärme suchen, je mehr diese bei den verschiedenen Thierclassen, bei einzelnen Individuen und in verschiedenen Zuständen der Intensität dieser Processe proportional ist[1].

212) Im Allgemeinen wurde diese Theorie von den Physiologen angenommen; inzwischen müssen wir noch einige Modificationen erwähnen, wodurch einige dieselbe verändert und scheinbar oder wirklich verworfen haben. Gleichzeitig mit Lavoisier stellte Dr. Peart[2] seine Theorie auf, wonach das Phlogiston und ein gewisser Aether sich mit der fixen Materie auf vielfache Weise verbinden und dadurch sowohl Wärme als auch Bewegung erzeugen sollen, wobei er annahm, daſs das Phlogiston den Nerven, der Aether aber dem Blute angehöre. Gehaltreicher, obgleich nichts weniger als genügend klar, wegen der Darstellung in der Sprache der damals gangbaren sogenannten Naturphilosophie, ist die durch Buntzen[3] aufgestellte Hypothese. Nach ungenügenden Versuchen über den Einfluſs galvanischer Reize auf die Muskelbewegung und dadurch scheinbar entbundene Wärme will er den Ursprung der letzteren aus einer erhöhten Thätigkeit der Muskelkraft in den Animalien, verbunden mit gleichzeitiger Einwirkung galvanischer Kräfte, ableiten, was aber im Ganzen auf ein Spiel mit eingebildeten elektrischen Wirkungen hinausläuft. Auch De la Metherie[4] ist geneigt, der Muskelbewegung einen Antheil an der Erzeugung der thierischen Wärme beizulegen, die er jedoch der Hauptsache nach auf einen Verbrennungsproceſs in der Art zurückführt, daſs sie durch die Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff erzeugt werde, wie denn auch beim gewöhnlichen Verbrennen die erzeugte Hitze aus dem Wasserstoff entstehe, welcher nach den Versuchen von De la Roche und Berard eine so groſse specifische Wärmecapacität habe.

---

1 Vergl. Rudolphi Physiologie Th. I. S. 189. De la chaleur animale et de ses divers rapports. Par F. Josse de Rennes. Par. an IX. 8. Everard Home über die Structur d. Lungen in Philos. Trans. 1827. p. 60.

2 The generation of animal Heat investigated. Gainsbourgh 1788. 8.

4 Beitrag zu einer künftigen Physiologie. Kopenh. 1805. 8. Vergl. G. XXV. 147.

4 Journ. de Phys. LXVI. p. 142 u. 278.

Inzwischen ist die Erzeugung von Wasser im thierischen Körper durch einen Verbrennungsprocefs dieser Art gar nicht nachweisbar und bei einer grofsen Menge von Verbrennungen Wasserstoff gar nicht vorhanden. Mit Uebergehung der Hypothesen von De la Rive und Chossat[1] mögen noch die Ansichten Matteucci's[2] erwähnt werden. Dieser verwirft die Hypothese De la Rive's, wonach die Wärmeentwickelung in den Nerven auf gleiche Art geschehn soll, als im Rheophore, weil eine hierzu genügende elektrische Strömung in den Nerven gar nicht vorhanden sey; auch genügt ihm nicht, dafs Chossat die Erzeugung der thierischen Wärme von der Nerventhätigkeit ableitet. Um durch Versuche zu entscheiden, senkte er ein feines Thermometer in den Schenkelmuskel eines Kaninchens, nachdem er die dahin führenden Arterien und Venen unterbunden hatte, ohne Unterbrechung der Nerven. Bei 17° äufserer Temperatur zeigte das Thermometer 36°,3, ging aber in einer halben Stunde auf 25° herab. In Folge eines nach verschiedenen Richtungen durchgeleiteten elektrischen Stromes zeigten sich Muskelcontractionen, aber die Temperatur sank dennoch bis etwa 1° über die der Umgebung. Bei einem andern Kaninchen durchschnitt er den Crural- und Ischiatischen Nerv, liefs aber den Blutumlauf frei, worauf das Thermometer binnen 15 Minuten nur um 1° herabging und dann unverändert blieb. Hiernach schliefst er die Mitwirkung der Nerven aus, leitet dagegen die Wärme aus dem Blute ab, bezieht sich dabei aber auf Pouillet's erwähnte Erfahrungen (§. 118), wonach durch Benetzung lockerer Substanzen Wärme frei wird. Er selbst pulverisirte animalische Theile, fand diese Erfahrungen bestätigt, und glaubte daher, dafs die thierische Wärme durch die im ganzen Körper vorgehende Nutrition als ein physikalischer und chemischer Procefs erzeugt werde, was schon deswegen in diesem Sinne unmöglich ist, weil die sich verbindenden Theile nicht trocken sind.

213) Grofses Aufsehn machte seiner Zeit eine Reihe von Abhandlungen, wozu hauptsächlich Brodie Veranlassung gab.

---

1 Biblioth. univ. T. XV. p. 37.

2 Quetelet Corresp. math. et phys. T. VIII. p. 223. Vergl. L'Institut 1834. N. 69.

Schon früher hatten Brandis[1] und Roose[2] die Entstehung der thierischen Wärme auf die Nerventhätigkeit zurückzuführen gesucht, und noch bestimmter geschah dieses durch B. C. Brodie[3]. Dieser fand, dafs bei einem Kaninchen nach getrennten Nerven bei künstlich unterhaltener Respiration keine Wärme entbunden werde, und er betrachtete sonach die Nerven als alleinige Ursache der thierischen Wärme, ohne jedoch den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung nachzuweisen. Er selbst und seine Anhänger übersahn hierbei die so nahe vor Augen liegende Täuschung, dafs nämlich der Procefs der Respiration mit der Wirkung derselben, nämlich der Wärmeerzeugung, verwechselt worden sey, und dafs die letztere unmöglich eine Folge des mechanischen Ein- und Ausströmens der Luft seyn könne, sondern des Chemismus der verschiedenen Verbindungen und Zersetzungen, welche zugleich damit verbunden seyn müssen. Wäre dieses nicht, so müfste auch Wärme in einem todten Thiere erregt werden, wenn man durch Compression abwechselnd Luft in seine Lungen prefste und wieder herausdrückte. Dafs übrigens ein Causalzusammenhang zwischen der Respiration und dem Gehirn statt finde, wufste man schon lange, namentlich durch Blumenbach[4].

214) Inzwischen wurde von mehreren Seiten wiederholt, dafs die Respiration vom Gehirne abhänge, mit der mehr oder weniger bestimmten Andeutung, dafs sonach auch die thierische Wärme ein Product der Nerventhätigkeit sey[5]. Sofern es sich blofs um die Bewegung handelt, welche den Athmungsprocefs bedingt, zeigt eine lange und schöne Reihe von Versuchen, die Le Gallois[6] anstellte, evident, dafs das Athmen eine Wirkung der Nerventhätigkeit sey, und dafs mit dem Aufhören der letzteren auch die Wärme abnehme, welches mit den Resultaten anderer, durch Dupuytren, Blainville und

---

1 Journ. d. Erfindungen u. s. w. in Natur- und Arzneiw. St. 17. S. 3.

2 Ueber die Lebenskraft. S. 359.

3 Philos. Trans. 1810. p. 36. 1812. P. II. G. LXVI. 80.

4 Comm. Soc. Reg. Gott. T. VIII. Vergl. dessen Institutiones physiol. Gott. 1787. ed. 3. ib. 1810.

5 Die Respiration, als vom Gehirn abhängige Bewegung u. s. w. von Bartels. Bresl. 1813.

6 Expériences sur le principe de la Vie. p. 248.

Dumas angestellter Versuche[1] genau übereinstimmt. Sehr richtig zeigt aber Emmert[2], dafs Brodie das Haupterfordernifs, nämlich eine Untersuchung der chemischen Veränderung der künstlich geathmeten Luftarten, gänzlich vernachlässigt habe; ja er selbst will gefunden haben, dafs sogar nach dem Tode durch künstliche Respiration noch einige Wärme erzeugt werde, sobald noch eine geringe Zersetzung der geathmeten Luft statt finde. Mehrere Gelehrte machten bei ihren Untersuchungen über das Athmen auf die Menge der erzeugten Kohlensäure und die hieraus hervorgehende unverkennbare Aehnlichkeit des Athmungsprocesses mit einem wirklichen Verbrennen aufmerksam, z. B. Thomson[3], Prout[4] und Andere. Indem dann ferner Provençal[5] zeigte, wie die Wärme bei verminderter Respiration abnimmt, und John Davy aus seinen oben erwähnten Versuchen folgerte, dafs die Wärme zunächst in den Lungen erzeugt und von hier aus durch den ganzen Körper verbreitet werde, so mufste Lavoisier's Theorie gehörig modificirt durch dieses alles sehr an Ansehn gewinnen. Am genügendsten und vollständigsten ist indefs die ganze Aufgabe erörtert worden durch eine Reihe ebenso zweckmäfsiger als genauer Versuche von Le Gallois[6], woraus sich ergiebt, dafs die erzeugte Wärme allezeit der Menge des verzehrten Sauerstoffgases proportional ist, welche mit der gröfsern oder geringern Munterkeit, dem Wohlseyn und überhaupt der Lebensthätigkeit der Thiere in verschiedenen Zeiten wechselt und im Allgemeinen zur Gröfse derselben in einem nahen Verhältnisse steht, ohne ihrem Gewichte genau proportional zu seyn. Sonach läfst sich die thierische Wärme allerdings als eine Wirkung der Respiration betrachten und gehört unter die Classe der Verbrennungen, modificirt durch die Eigenthümlichkeiten des Lebensprocesses. Dafs dabei die Nerventhätigkeit, welche auf den ganzen Organismus und die Respiration selbst einen so grofsen Einflufs hat, bedingend einwirke, dafs auch nachtheilige Ner-

1 Mém. de l'Inst. T. XII. LXXX.

2 Hufeland und Harles Journ. d. prakt. Heilkunde 1815. St. 3. S. 55.

3 Annals of Philos. 1815. Jun. N. XXX. art. 4.

4 Schweigger's Journ. Th. XV. S. 56.

5 Mém. de l'Instit. T. X. p. 86.

6 Ann. de Chim. et Phys. T. IV. p. 1.

venaffectionen die Wärme herabstimmen können, ist nicht zu bezweifeln; als einzige und unmittelbare Wirkung der Nerven kann aber die Erzeugung der thierischen Wärme schon deswegen nicht betrachtet werden, weil kein Verhältnifs des Nervensystems zur Wärme vorhanden ist. Hiernach müfste nämlich der Mensch die gröfste Wärme haben, die Säugethiere müfsten den Vögeln voranstehn, und diese sich wenig von den Amphibien unterscheiden, die Insecten endlich tief unter den Fischen stehn, alles der Erfahrung widerstreitend[1]. Dennoch wird diese Ansicht noch von einigen Physiologen in Schutz genommen, indem sie entweder die Nerventhätigkeit unbestimmt als unmittelbare Ursache der thierischen Wärme darstellen, oder sie als eine mittelbare betrachten, wie z. B. P. Wilson Philip[2], nach dessen Meinung die Wärme durch den Einflufs der Nerven auf das Blut entsteht und nach der Analogie anderer Absonderungen von Flüssigkeiten gleichfalls als eine Absonderung erscheint.

215) Einen nicht unwichtigen Beitrag zur Bestätigung von Lavoisier's Hypothese haben Dulong und Petit geliefert[3]. Durch Versuche mit einem Calorimeter fanden sie: 1) dafs die pflanzenfressenden Thiere viele Kohlensäure erzeugen, welche beinahe der Menge des verzehrten Sauerstoffgases gleich ist. 2) Fleischfressende Thiere verzehren weit mehr Sauerstoffgas, die erzeugte Kohlensäure beträgt aber nur etwa die Hälfte des verzehrten Sauerstoffgases. 3) Bei diesem letzteren beträgt die durch verzehrtes Sauerstoffgas und erzeugte Kohlensäure entbundene Wärme, wenn wir sie als blofses Product der Verbrennung betrachten, 40, 49 und 55 Procent der gesammten animalischen Wärme, 4) bei den pflanzenfressenden Thieren aber 60 bis 75 Procent. 5) Wenn man nach Lavoisier und Laplace die durch Wasserbildung erzeugte Wärme zu der durch Kohlensäurebildung hervorgebrachten addirt, so erhält man die Summe der durch Athmung erzeugten, die bei den Herbivoren

---

1 Rudolphi Physiologie. Th. I. S. 189. Treviranus Biologie. Th. V. S. 1. John Davy in Edinburgh Philos. Journ. N. XXVII. p. 45.

2 Eine auf Versuche gegründete Untersuchung über die Gesetze und Functionen d. Lebens u. s. w. Aus d. Franz. von Sontheimer. Stuttg. 1822. 8. Cap. 8.

3 Schweigger's Journ. Th. XXXVIII. S. 505. Th. XLV. S. 47.

70 bis 75 Procent, bei den Carnivoren 75 bis 80 Procent der gesammten thierischen Wärme beträgt; der Rest mufs also durch sonstige organische Processe entwickelt werden.

216) Noch mufs zum Beschlusse die Preisschrift erwähnt werden, worin Despretz[1] diesen Gegenstand ausführlich behandelt hat und wofür er 1823 den Preis vom Nationalinstitute erhielt. Seine eigenen Bestimmungen der mittleren Temperatur der verschiedenen Animalien sind von keinem vorzüglichen Werthe und scheinen insgesammt etwas hoch, namentlich auch die des Hundes, wie oben bereits bemerkt wurde. Nur der Vollständigkeit wegen mögen daher einige hier Platz finden.

| | Mittlere Temperatur: |
|---|---|
| der Menschen zwischen 30 bis 68 Jahren | 37°,13 |
| — — von 18 Jahren . . . . . | 36,99 |
| der Kinder von 1 bis 2 Tagen . . . . | 35,06 |
| erwachsene Raben . . . . . . . . . | 42,91 |
| vier Nachteulen . . . . . . . . . . | 40,91 |
| Kauz, Männchen und Weibchen . . . | 41,47 |
| Tauben . . . . . . . . . . . . . | 42,98 |
| Sperling . . . . . . . . . . . . | 41,96 |
| Katze . . . . . . . . . . . . . | 39,78 |
| Meerschweinchen . . . . . . . . . | 35,76 |
| zwei Karpfen im Wasser von 10°,83 . | 11,69 |

Zur genaueren Erörterung der Aufgabe wählte er das schon von Lavoisier und Laplace angewandte Mittel, die durch Thiere und durch verbrennende Kohlen bei gleicher Production von Kohlensäure erzeugten Wärmemengen zu vergleichen, wobei er sich des Wassercalorimeters bediente. Der zu verbrennende Kohlenstoff wurde aus verkohltem, ganz weifsem Zucker gewonnen und enthielt durchaus keinen Wasserstoff. Aus mehr als 200 Versuchen ging das Resultat hervor, dafs die Respiration und die Erzeugung der Kohlensäure durch Absorption des Sauerstoffgases der Luft die hauptsächlichste Quelle der thierischen Wärme ist, indem die Assimilation, die Bewegung des Blutes und die Reibung der verschiedenen Theile (?) den geringfügigen zurückbleibenden Rest ersetzen können. Es wird

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 337.

indeſs auſser dem zur Bildung der Kohlensäure dienenden Sauerstoffgas noch eine Quantität desselben verzehrt, mitunter eine nicht unbedeutende im Verhältniſs zur erstern, wovon man glaubt, sie verbinde sich mit dem Wasserstoff des Blutes. Die durch die Respiration als Verbrennungsproceſs betrachtete Wärmeproduction betrug nie weniger als 0,7 der gesammten thierischen Wärme und dieses nur bei jungen Individuen, sie überstieg aber nie 0,9 derselben.

217) Fassen wir das Ganze zusammen, so ergiebt sich, daſs die richtige Theorie über die Erzeugung der thierischen Wärme von Crawford geahnet, durch Lavoisier und Laplace begründet, durch Dulong und Petit, so wie durch Despretz und Andere nur bestätigt und etwas erweitert wurde, indem sie zeigten, daſs der in den Lungen statt findende Verbrennungsproceſs nicht die einzige Ursache sey, sondern daſs die im ganzen Körper statt findenden Assimilationsprocesse zugleich als mitwirkend erscheinen müssen. Aus dem Umstande, daſs nicht übereinstimmend mit sonstigen Verbrennungsprocessen die durch den animalischen erzeugte Wärme eine stets constante und nur unbedeutend wechselnde Gröſse ist, kann kein Einwurf gegen die Richtigkeit der Theorie hergenommen werden, denn dieses ist Folge des feinern Lebensprocesses, was um so weniger zweifelhaft seyn kann, als sich in vielen Stücken nachweisen läſst, inwiefern die gesteigerte oder deprimirte Lebensthätigkeit die Wärmeproduction modificirt, worüber wir hier aber nicht ausführlicher handeln können[1].

## 5) Wärmeerzeugung durch Elektricität.

Da die Elektricität in einen hell leuchtenden Funken ausbricht, in feurigen Strahlen aus dem Conductor strömt, verschiedene Körper durch den einfachen Funken entzündet und durch den Flaschenschlag Metall verbrennt, so war es natürlich, daſs man ihr eine wärmeerregende Kraft beilegte. Inzwischen sind die Phänomene, welche sie zeigt, keineswegs so einfach, als man hiernach vermuthen sollte, denn unter andern vermag

1 Eine schätzbare Zusammenstellung der meisten bis dahin bekannten Thatsachen ist enthalten in: De calore animali cet. auct. Leo. Raphaelowicz Gruenberg. 1820. 4.

ein Batteriefunken, welcher die strengflüssigsten Metalle sofort in Dampf verwandelt, weder Zündschwamm noch Schiefspulver zu entzünden. Es ist daher in Beziehung auf die Theorie der Wärme von grofser Wichtigkeit, die Thatsachen zuvor genau zu erörtern[1].

218) In Gemäfsheit der angegebenen, bei der allmälig fortschreitenden Bearbeitung der Elektricitätslehre sehr bald bekannt gewordenen Thatsachen war man geneigt, das elektrische Fluidum als an sich erwärmend zu betrachten, und dieses mag den neuesten Erfahrungen zufolge auch allerdings wohl der Fall seyn, wenn gleich in manchen Fällen die Masse, welcher Elektricität mitgetheilt wird, so grofs und die erregende Wärme so gering ist, dafs man sie thermoskopisch wahrzunehmen nicht vermag. Letzteres ist namentlich der Fall bei elektrisirten Personen, an denen man nach den Versuchen von Van Marum[2] keine Erhöhung der Temperatur wahrnimmt. Einen wichtigen Beitrag zur Entscheidung dieser Frage lieferten die Versuche mit Kinnersley's *Luftthermometer*[3], aus denen man folgerte, dafs die Elektricität nicht allgemein, sondern nur dann Wärme errege, wenn sie Widerstand findet. Zu bewundern ist indefs, dafs man auf diese, mit so grofser Sorgfalt angestellten Versuche so wenig geachtet hat, denn sie verdienten nochmals mit der ganzen, gegenwärtig üblichen Genauigkeit wiederholt zu werden, um auszumitteln, ob wirklich bei vollkommen genügender Leitung der Elektricität keine Wärme durch sie entbunden wird. Gewifs ist, dafs weder ein Luftthermometer noch ein Quecksilberthermometer, deren Kugeln einen elektrischen Conductor berühren, eine Erhöhung der Temperatur zeigen, auch selbst ein Quecksilberthermometer, in dessen Kugel ein Stahlstift eingeschmolzen ist, und ein anderes, in dessen Kugel zwei einander gegenüber stehende Platin-

---

1 Da es hier nicht darauf abgesehn ist, alle zur Wärmeerregung durch Elektricität gehörigen Phänomene vollständig mitzutheilen, so verweise ich auf Fechner in: Lehrbuch d. Experimentalphysik. Leipz. 1829. Th. II. S. 266 über die Erhitzung durch Reibungselektricität und Th. III. S. 304 über Wärmeerscheinungen der Kette, wo die Thatsachen sehr vollständig zu finden sind.

2 G. I. 88.

3 S. Art. *Luftthermometer*. Bd. VI. S. 620. Philos. Trans. 1763. p. 84.

drähte eingeschmolzen sind, zeigen ersteres beim Eindringen der Elektricität aus einem geladenen Conductor, letzteres beim Durchströmen der Elektricität aus demselben die mindeste Erhöhung der Wärme, was jedoch die Folge der Schwäche des elektrischen Stromes und der ungenügenden Empfindlichkeit der Thermometer seyn mag. Dennoch entzündet ein kleiner elektrischer Funke das Knallgas, wie die *elektrische Lampe*[1] und die *elektrische Pistole*[2] zeigen. Durch einen Funken aus einer Flasche von nur etwas mehr als einem Quadratfuſs Belegung läſst sich Hexenmehl oder Kolophoniumpulver im sogenannten *Donnerhaus*[3] entzünden; Aether, Alkohol und Terpentinspiritus, die beiden letztern nach Erwärmung, gerathen durch einen in sie schlagenden oder aus ihnen gezogenen einfachen Funken in Brand; legt man auf einen elektrischen Conductor einige Brocken Kampher und entzündet diese, so löscht eine genäherte Spitze durch den erregten Wind die Flamme aus, der elektrische Funke aber aus einer genäherten kleinen Kugel bringt sie wieder hervor; ein Stückchen Phosphor endlich, an einer Kugel klebend und dem ersten Conductor genähert, entzündet sich augenblicklich. Am interessantesten unter den bekannten Versuchen ist, daſs der stärkste Flaschenfunke, durch Schieſspulver geleitet, dasselbe zerstreuet, und es nur dann entzündet, wenn die vollständige Leitung durch einen nassen Bindfaden oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre, die man in den leitenden Draht einschaltet, gehemmt wird, wie nicht minder, daſs die Spitze eines abgerissenen Stückchens Schwamm, die man auch mit den Fingern etwas zusammendrehn kann, sich entzündet, wenn man sie dem Knopfe einer schwach geladenen Batterie oder selbst der Hand und sogar der Zunge einer mit der innern Belegung der Batterie verbundenen isolirten Person nähert, wobei letztere an der zündenden Stelle keine merkliche Hitze empfindet. Nehmen wir hierzu das Verbrennen der Metalle durch den Batteriefunken, das Erglühn der Metalldrähte im Kreise mächtiger Calorimotoren[4], das Ver-

---

1 S. Art. *Lampe, elektr.* Bd. VI. S. 75.

2 S. Art. *Pistole, elektr.* Bd. VII. S. 573.

3 S. Art. *Donnerhaus.* Bd. II. S. 578.

4 Ueber die Anwendung dieses Mittels zur Entzündung des Schieſspulvers in Minen oder beim Steinsprengen s. Sixth Report of the British Association. Lond. 1837. p. 45.

brennen der Metalle und namentlich des Quecksilbers im hydroelektrischen, thermoelektrischen und magnetoelektrischen Strome, so läſst sich die Wärmeerzeugung durch die elektrischen Ströme jeder Art, wenn sie von hinlänglicher Stärke sind, gar nicht bezweifeln, und die Frage ist nur, ob allezeit eine dem elektrischen Strome proportionale Wärme auch dann erzeugt wird, wenn eine hinlängliche Leitung vorhanden ist.

219) Zuerst scheint es allerdings, als ob der Widerstand gegen die freie elektrische Strömung ihre Wärmeerregung verstärke; denn wenn man mit dem einen Platindrahte des eben genannten Thermometers den Conductor einer Maschine, die etwa 4zollige Funken giebt, berührt und dem andern Platindrahte einen metallenen Leiter auf eine halbe bis 2 Lin. nähert, so bewirkt das anhaltende Durchströmen der Elektricität kein merkliches Steigen des Quecksilbers, Adams[1] dagegen oder Nairne[2] hielt ein bloſses Thermometer in den elektrischen Strom zwischen zwei hölzerne Kugeln und sah dadurch das Thermometer von 18°,33 bis 43°,33 steigen, und Van Marum[3] sogar von 7°,22 bis 66°,66 C. Inzwischen gilt dieser Satz nicht in der Ausdehnung, daſs die Erwärmung der Gröſse des Widerstandes direct proportional zu nehmen wäre, wie schon daraus von selbst hervorgeht, daſs der Leitungswiderstand die Menge der durchströmenden Elektricität vermindert und somit also die wirkende Ursache kleiner macht. Die neuesten, mit gehöriger Umsicht angestellten Versuche haben auch über dieses Problem des gehörige Licht verbreitet. Aus diesen geht hervor, daſs mächtige elektrische Ströme, durch groſse Calorimotoren erzeugt, eine Hitze geben, welche der des Knallgasgebläses nahe kommt[4]. Wärmeerregung durch starke Ströme der Reibungs- und Hydroelektricität war also schon seit langer Zeit als unbestreitbare Thatsache anerkannt worden; daſs der magnetoelektrische Strom die nämliche Wirkung äuſsere, beweisen die Funken der verbrennenden Metalle, die man durch denselben erhält, noch auffallender und unbestreitbarer

1 Essay on Electricity. 2d. ed. Lond. 1785. p. 384.
2 Ann. of Philos. T. XX. p. 336.
3 Gren's neues Journ. d. Phys. Th. III. S. 7.
4 Vergl. G. LV. 118.

aber entscheidet hierfür das fortwährende Glühen eines feinen Platindrahts, welcher in den Rheophor dieses Stromes eingeschaltet ist, nach v. Ettingshausen[1]. Vom thermoelektrischen Strome läfst sich das Nämliche aus dem Funken des verbrennenden Quecksilbers beim Oeffnen der Kette folgern, allein dagegen würde die Einwendung gelten, dafs diese Wirkung nicht vom ursprünglichen thermoelektrischen, sondern vom Inductionsstrome herrühre. Inwischen hat Watkins[2] vermittelst eines Breguet'schen Metallthermometers und eines nach Harris's Angabe verfertigten Luftthermometers neuerdings gefunden, dafs auch der Leitungsdraht einer thermoelektrischen Säule von hinlänglicher Stärke unverkennbar Wärme entbindet[3]. Somit wäre also erwiesen, dafs alle elektrische Ströme die Kraft besitzen, Wärme zu entbinden, und wenn diese bei manchen älteren Versuchen nicht wahrgenommen wurde, so lag die Ursache in ihrer geringen Menge und der Unvollkommenheit der angewandten Thermoskope. Sofern aber genügend erwiesen worden ist, dafs alle elektrische Ströme, welches Ursprungs sie auch seyn mögen, einiger Modificationen ungeachtet dem Wesen nach identisch sind, so reducirt sich die Aufgabe darauf, die Bedingungen aufzufinden, durch welche und unter welchen Wärme durch elektrische Ströme entbunden wird, und die bei einer Art der elektrischen Strömung aufgefundenen Gesetze werden dann auf alle gleichmäfsig anwendbar seyn.

220) Verschiedene lehrreiche Versuche über die Wärmeerregung durch den elektrischen Strom einer Volta'schen Säule hat De la Rive[4] bekannt gemacht. Hierbei fand er das schon durch H. Davy mit Children's Apparate erhaltene Resultat

---

1 Bericht über die Versammlung deutscher Naturforscher u. Aerzte in Prag 1837. S. 233.

2 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXXXVI. p. 81. Poggendorff's Ann. XLVI. 496.

3 Die Anwendung eines solchen Metallthermometers für diesen Zweck ist nicht geeignet, weil die Elektricität aufser dem erwärmenden noch einen andern Einflufs auf das Volumen der durchströmten Metalle ausübt. §. 227. Nach v. Marum verkürzte sich ein 18 Z. langer Draht durch einen elektr. Schlag um 0,25 Z. Aehnliche Resultate erhielt Nairne. S. Lichtenberg Mag. Th. I. St. 2. S. 22.

4 Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. Nat. de Génève T. III. p. 123.

bestätigt, dafs gleiche elektrische Ströme in gleich dicken und gleich langen Drähten um so mehr Wärme erregen, je besser diese leiten, und dafs z. B. in einem aus Stücken von Silber und Platin zusammengesetzten Drahte blofs das Platin und nicht das Silber erglüht, dafs ferner bei Schwächung des Stromes zuweilen nur die Enden des Platins und bei einer Kette aus gleichen Drahtstücken nur die Stellen der Einhängung überhaupt oder stärker erglühn. Nach Peltier[1] steht die Länge des erglühenden oder erhitzten Drahtes im hydroelektrischen Strome mit seiner magnetischen Kraft und also mit der Intensität der fortgeleiteten Elektricität im genauesten Zusammenhange der Art, dafs ein Draht von gegebener Dicke und Länge, welcher eine Ablenkung der Thermometernadel von 20° bewirkt und eine Temperaturerhöhung von 10° erhalten hat, bei mehrern Metern Länge gleichfalls 10° Wärme annehmen wird, sobald der Strom so weit verstärkt ist, dafs die Ablenkung der Magnetnadel wieder 20° beträgt. Bei gleicher Intensität des elektrischen Stromes erhält also ein Draht in seiner ganzen Länge dieselbe Temperaturerhöhung, wie grofs auch seine Länge bei unveränderter Dicke seyn mag, selbst auch wenn seine Enden in eine kalte Flüssigkeit getaucht sind. Ein anderes Resultat, wonach die Temperatur eines gegebenen Drahtes, mittelst der Löthstelle eines thermoelektrischen Thermometers gemessen, im dreifachen Verhältnifs steigt, wenn die Ablenkung der Magnetnadel um das Doppelte der Grade wächst, schien ihm mit der Wirkung sonstiger Wärmequellen nicht übereinzustimmen; er wiederholte daher diese Versuche[2], fand aber dasselbe bestätigt. Hiernach ist es daher als ausgemacht anzusehn, dafs die magnetoelektrischen, thermoelektrischen und hydroelektrischen Ströme eine ihrer Intensität nach einem gewissen, hierfür wohl noch nicht völlig ausgemachten Gesetze proportionale Wärme erregen.

221) In Beziehung auf den Strom aus einer Leidener Flasche ist die vorliegende Frage durch eine lange Reihe schätzbarer Versuche sehr gründlich und vollständig beantwortet worden, und es wird erlaubt seyn, aus den angegebenen Gründen die

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LVI. p. 371. Poggendorff's Ann. XLIII. 324.

2 S. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXI. p. 301.

hierdurch gefundenen Gesetze auch auf die andern Ströme anzuwenden. Zuerst hat Ohm[1] aus dem von ihm aufgefundenen Gesetze der elektrischen Strömungen einen allgemeinen Ausdruck für das Gesetz des Erglühens der Rheophore abgeleitet. Unter der Voraussetzung, daſs die Intensität des Erglühens eines in der elektrischen Kette befindlichen Leiters der Intensität des ihn durchlaufenden Stromes direct proportional ist, auſserdem aber durch die Natur dieses Leiters bedingt wird, erhält man

$$G = \frac{I}{x},$$

worin G die Stärke des Erglühns, I die Intensität des elektrischen Stromes und x den Glühungscoefficienten ausdrückt, welcher dem Leitungsvermögen, und sofern dieses das Erglühn hindert, der Glühkraft umgekehrt proportional ist. Es kann aber

$$I = \frac{A}{(L + \varDelta)\omega}$$

gesetzt werden, wenn A die elektromotorische Kraft des Apparates, L den Leitungswiderstand des nicht erglühenden, $\varDelta$ aber den des erglühenden Theiles und $\omega$ den Querschnitt bezeichnet. Wird dann endlich der Leitungswiderstand des erglühenden Theiles $\varDelta = \frac{l}{k\omega}$ ausgedrückt, worin k das Leitungsvermögen und l die Länge bezeichnet, so erhält man durch Substitution die von Ohm gegebene Formel

$$G = \frac{A}{\left(L\omega + \frac{l}{k}\right) x},$$

deren Coefficienten k und x, obgleich von einander abhängig, dennoch vielseitig bedingt, durch Versuche für die einzelnen Körper auszumitteln sind.

Insbesondere hat Riess in mehreren gediegenen Abhandlungen die Resultate seiner schätzbaren Versuche über die erwärmende Kraft der Flaschenschläge bekannt gemacht. Zum Messen der Temperatur bediente er sich eines *Luftthermo-*

---

1 Kastner's Archiv. Th. XVI. S. I. Fechner's Repert. Th. I. S. 466.

*meters*[1], welches dem von Harris[2] für ähnliche Zwecke angewandten ähnlich war; sofern aber dasselbe nach den jedesmaligen Zwecken verschieden modificirt werden kann, wird eine allgemeine Beschreibung genügen[3]. Eine fast 3 Z. weite Glaskugel war an zwei einander diametral gegenüberstehenden Stellen durchbohrt und mit messingnen Hülsen a a′ versehn, um die jedesmal in Anwendung zu bringenden Drähte durch die Kugel zu führen, anzuspannen und die Kugel mittelst Hülsen wieder luftdicht zu verschliefsen. An einer dritten, mit den beiden genannten in einem gröfsten Kreise liegenden, 90° von ihnen abstehenden Stelle war die Kugel gleichfalls durchbohrt und mit einer Fassung versehn, die durch einen genau eingeschliffenen Stöpsel b schnell verschlossen und geöffnet werden konnte. Unten endete die Kugel in eine mehrere Zoll lange, 0,45 Lin. weite Glasröhre, deren anderes Ende mit einem aufgebogenen weitern Gefäfse c versehn war, um irgend eine, die Luft absperrende, Flüssigkeit hineinzubringen. Die Röhre nebst der Kugel ruht auf einem Brete mit einer Scale, um aus der Ausdehnung der Luft die erzeugte Wärme zu messen, wobei man die Vorrichtung so trifft, dafs das Bret mit der Scale um einige Grade gegen den Horizont geneigt werden kann. Es versteht sich von selbst, dafs die vermittelst dieses Apparates gefundenen Werthe gehörig corrigirt werden müssen, was in der Abhandlung genügend erörtert worden ist, und da es hier nicht darauf ankommt, die erhaltenen Resultate allseitig zu würdigen, so genügt es, nur die Hauptsachen anzugeben. Für die Erwärmung eines Platindrahtes, durch welchen ein Flaschenfunke geleitet wurde, ist wichtig zu bemerken, dafs gar keine Erwärmung statt fand, wenn der Leitungsbogen durch einen kleinen Cylinder von feuchtem Holze unterbrochen wurde, im entgegengesetzten Falle aber war bei Drähten von gleicher Dicke die erzeugte Wärme dem Producte der Quantität in die Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional, bei Drähten von gleicher Länge und ungleicher

Fig. 45.

1 Beschrieben und durch Zeichnung versinnlicht in Dove's Repertorium der Physik. Th. II. S. 98. Fig. 8 u. 9. Vergl. Poggendorff's Ann. XLIII. 49.

2 Philos. Trans. 1834. p. 225.

3 Poggendorff's Ann. XL. 335 ff. Dove's Repertorium. Th. II. S. 55.

Dicke aber verhielten sich die Temperaturerhöhungen bei gleichen elektrischen Entladungen umgekehrt wie die Biquadrate ihrer Halbmesser oder waren den Querschnitten umgekehrt proportional. Durch eine zweite Reihe von Versuchen fand Riess[1] vermittelst verschieden langer eingeschalteter Drähte, daſs die Erwärmung von der Länge der leitenden Drähte unabhängig ist, woraus hervorgeht, daſs diejenige Veränderung, welche in irgend einem Elemente des Rheophors hervorgebracht wird, in allen übrigen Elementen desselben gleichfalls statt findet. Die wesentlichste, durch diese Versuche aufgefundene neue Thatsache ist, daſs die Erwärmung bedeutend geschwächt oder ganz aufgehoben wird, sobald irgend ein schlecht leitender Körper den freien Durchgang des elektrischen Stromes hindert. Die in Anwendung gebrachten Nichtleiter waren eine Luftschicht, ein oder zwei Kartenblätter und ein dünnes Glimmerblatt. Es läſst sich hierbei die Ursache nicht in einer angemessenen Verminderung des elektrischen Stromes suchen, denn das Residuum der entladenen Flaschen war in allen Fällen nach Schätzung gleich groſs, und dennoch hätte es, namentlich bei Anwendung des Glimmerblättchens, noch die Hälfte der ganzen Ladung betragen müssen, was der Beobachtung nicht entgehn konnte. Durch eine dritte Reihe von Versuchen bestimmte Riess[2] die Verzögerungskraft und das Erwärmungsvermögen verschiedener Metalle, die des Platins als Einheit angenommen, und erhielt folgende Werthe:

---

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 47.

2 Ebendaselbst XLV. 1.

| Metalle. | Verzögerungs-kraft. | Erwärmungs-vermögen. |
|---|---|---|
| Silber . . . . . | 0,1043 . . . | 0,1267 |
| Kupfer . . . | 0,1552 . . . | 0,1133 |
| Gold . . . . . | 0,1746 . . . | 0,2112 |
| Cadmium . . | 0,4047 . . . | — |
| Messing . . . | 0,5602 . . . | 0,3861 |
| Palladium . . | 0,8535 . . . | — |
| Eisen . . . . . | 0,8798 . . . | 0,7080 |
| Platin . . . . . | 1,0000 . . . | 1,0000 |
| Zinn . . . . . | 1,0530 . . . | 1,5700 |
| Nickel . . . | 1,1800 . . . | 0,8727 |
| Blei . . . . . | 1,5030 . . . | 2,867 |
| Neusilber . . | 1,7520 . . . | — |

Die gesammten Versuche führten zu folgendem Hauptsatze: In irgend welchen mit einander verbundenen Metalldrähten, die zugleich eine elektrische Batterie entladen, werden Wärmemengen frei, die genau proportional den Verzögerungen sind, welche diese Drähte einzeln bei irgend einer elektrischen Entladung verursachen würden. Das Ganze läfst sich dann durch die Formel ausdrücken:

$$W = \frac{a x l}{r^2}\left(\frac{1}{1+\frac{b x \lambda}{\varrho^2}}\right)\frac{q^2}{s},$$

worin W die entwickelte Wärmemenge, l die Länge, r den Halbmesser, x die Verzögerungskraft, λ die Länge und ϱ den Halbmesser des ganzen Schliefsungsbogens, s die Gröfse der Batterie und q die in ihr enthaltene Elektricitätsmenge, a und b aber Constanten bezeichnen, indem a von der Beschaffenheit des Metalles im untersuchten Schliefsungsbogen, b aber von der Beschaffenheit des Metalles im hinzugesetzten Drahte abhängt[1].

222) Nehmen wir alle diese Erfahrungen zusammen, zu denen noch die von De la Rive[2] namentlich über die Wär-

---

1 Ueber diese Versuche ist noch zu vergleichen Vorsselman de Heer in Poggendorff's Ann. XLVIII. 292 und die Bemerkungen von Riess hierüber ebend. S. 320.

2 Biblioth. universelle. T. XL. p. 40. Poggendorff's Ann. XV. 257.

meerzeugungen in Flüssigkeiten zusammengestellten kommen könnten, so ergiebt sich, dafs alle elektrische Ströme Wärme erregen, deren Menge der in gegebener Zeit durch den Querschnitt eines Leiters strömenden Quantität und dem Raume proportional ist, welchen diese Masse einnimmt, zugleich aber vermehrt wird durch die Verzögerungskraft der Rheophormasse. Ist die Masse des elektrischen Stromes zu gering und zu wenig zusammengedrängt, mag dieses von der spärlichen Ergiebigkeit der Elektricitätsquelle oder der zu grofsen Ausbreitung über dem als ihr Reservoir dienenden Behälter oder dem zu grofsen Querschnitte des Rheophors oder endlich von der zu sehr gestörten Geschwindigkeit der Strömung herrühren, so vermindert sich die erregte Wärmemenge zunehmend so sehr, dafs sie zuletzt gar nicht mehr wahrgenommen wird. Hierin liegt ohne Zweifel die Ursache, dafs die englischen Experimentatoren in Gemäfsheit ihrer Versuche mit Kinnersley's Luftthermometer den Satz aufstellten, bei vollständiger Leitung der Elektricität werde gar keine Wärme frei, was jedoch nur mit der angegebenen Beschränkung gültig ist. Hieraus lassen sich füglich einige längst bekannte Erscheinungen erklären, namentlich die Entzündung des Zündschwammes und des Schiefspulvers durch Verzögerung des Stromes. Nähert man namentlich die feinen Fasern des Zündschwammes, so ist die Masse der aus dem Knopfe der Flasche, vorzüglich einer grofsen Batterie, ausströmenden und in einen kleinen Raum zusammengedrängten Elektricität sehr bedeutend, und die Entzündung tritt sofort ein, erfolgt auch in der Regel um so sicherer, je schneller man den Schwamm nähert. Beim Durchgange des Flaschenschlages durch Schiefspulver finde ich es wahrscheinlich, dafs der elektrische Strom überhaupt nicht durch die neben einander gelagerten Körner fliefst, sondern durch die Luft, indem die positive der negativen und umgekehrt auf die kürzeste und schnellste Weise zu begegnen sucht; entzündet man aber Schiefspulver durch den Strom einer Volta'schen Batterie, dann erfolgt dieses nach meiner Ansicht in der Regel nur durch das Verbrennen des Metalls, weil die Kohle des Schiefspulvers als schlechter Leiter den Strom nur schwer durchläfst. Alles dieses steht in ziemlich genauem Zusammenhange mit den Resultaten der neuesten, durch Edmund Becquerel[1] angestellten

1 Aus Compt. rend. T. VIII. p. 334 in Poggendorff's Ann. XLIX. 574.

Versuche. Hiernach bringt der elektrische Flaschenfunke, selbst wenn er in 2 Millim. Abstand vor einer thermoelektrischen Säule überspringt, ebenso wie ein fortdauernder elektrischer Strom keine thermischen Wirkungen hervor, vermuthlich weil der Vorübergang zu schnell erfolgt, als daſs eine Wärmestrahlung entstehn könnte.

223) Die Summe der Erfahrungen über Wärmeerzeugung durch Elektricität wurde kürzlich durch einen höchst interessanten Beitrag vermehrt, welcher jedoch keineswegs geeignet ist, die Erklärung aller dieser Phänomene zu erleichtern. Peltier[1] fand nämlich, daſs der hydroelektrische Strom bei seinem Durchgange durch die Löthstelle zweier Metalle je nach seiner Richtung nicht bloſs ungleiche Wärme, sondern sogar auch Kälte erzeugt. Der Satz, allgemein ausgedrückt, heiſst[2]: *wenn der positive Strom vom besseren Leiter zum schlechteren übergeht, so wird die Löthstelle erwärmt, im entgegengesetzten Falle wird sie weniger warm oder gar kalt;* die Löthstelle hat hiernach also eine andere Temperatur, als die übrigen Theile des Rheophors[3]. Auffallend zeigt sich dieses namentlich bei den Verbindungen von Kupfer mit Antimon oder Wismuth, am auffallendsten aber bei einer Verbindung der beiden letztern Metalle, woraus man ersieht, daſs die zu thermoelektrischen Säulen geeignetsten Metalle auch hierbei die stärkste Wirkung zeigen. Peltier machte seine ersten Versuche mit einem sehr complicirten Apparate, dann mit zwei Verbindungen von Antimon und Wismuth, die er kreuzweise mit Berührung ihrer Löthstellen über einander legte und wobei

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LVI. p. 371. Poggendorff's Ann. XLIII. 371.

2 Die scharfe Bestimmung dieses merkwürdigen Gesetzes verdanken wir den sogleich zu erwähnenden Versuchen von Moser und Lenz.

3 Daſs die Richtung des elektrischen Stromes auf die Wärmeerregung einen bedeutenden Einfluſs habe, ist aus einem andern Phänomen ersichtlich. Legt man eine Scheibe Phosphor auf eine mit dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine liegende Metallplatte, und nähert man ihr eine mit der Hand gehaltene kleine Metallkugel an einer Metallstange, so wird der durch den Phosphor fahrende Funke letzteren nicht entzünden, wohl aber geschieht dieses augenblicklich, wenn man die Scheibe Phosphor an die genäherte Kugel klebt.

die eine Verbindung in die Kette des elektrischen Stromes eingeschaltet wurde, während die andere als thermoelektrische Kette diente. Mit einem ähnlichen Apparate wiederholte Moser[1] die Versuche und fand die Resultate bestätigt. Weiter bediente sich Peltier eines Luftthermometers, durch dessen Kugel die durch Löthung verbundene Stange Antimon und Wismuth gezogen war. Die Anwendbarkeit des letzteren Apparates verwirft Lenz mit Recht deswegen, weil die eine Stange leicht so stark erhitzt wird, dafs die erzeugte Wärme die Erkaltung der Löthstelle überwindet und man ein entgegengesetztes Resultat erhält. Inzwischen hat der Apparat den grofsen Vorzug der Bequemlichkeit und Empfindlichkeit und kann daher jetzt, nachdem die Thatsache aufser Zweifel gesetzt worden ist, mit Nutzen angewandt werden. Nach der von mir gewählten Construction läfst man an eine ungefähr 0,3 Lin. weite Glasröhre AB eine Kugel von etwa 1 Zoll Weite mit zwei einander gegenüber stehenden kurzen Hälsen w blasen, zieht die an einander gelötheten Stängelchen Antimon und Wismuth von etwa 1 Lin. Dicke durch die beiden kleinen Hälse, und verkittet sie luftdicht so, dafs die Löthstelle sich in der Mitte befindet. Die aufwärts gebogene Glasröhre befestigt man auf einem verticalen Bretchen mit einer Scale, die auf einem geeigneten Fufsgestelle ruht. Beim Gebrauche erwärmt man die Kugel etwas mit der Hand und bringt einen Tropfen Weingeist auf das obere Ende der Röhre, welcher beim Abkühlen ungefähr bis in die Mitte der Röhre herabsinkt und dann entweder steigt oder fällt, jenachdem man den Draht des positiven Poles mit dem einen oder dem andern der aus den Hälschen hervorragenden Metallenden in Berührung bringt, während der andere Draht das entgegenstehende Ende berührt. Mit diesem Apparate kann man die Thatsache auch bei der Anwendung schwächerer Säulen im Allgemeinen bestätigt finden, und es gewährt sogar eine interessante Erscheinung, wenn man bei ziemlich schnellem Wechsel der Berührung mit den Polardrähten das Thermometer steigen und fallen sieht[2].

Fig. 46.

1 Dove's Repertorium. Th. I. S. 349.

2 Einst wandte ich eine so starke Säule an, dafs das Wismuthende jederzeit bei der Berührung mit dem Schliefsungsdrahte an der Berührungsstelle schmolz, und dennoch blieb der Erfolg für eine

Allerdings mufs man gestehn, dafs Lenz[1] das Problem bedeutend weiter gefördert hat. Zuerst wiederholte er den Versuch mit den kreuzweise auf einander liegenden, zusammengelötheten Wismuth- und Antimonstangen, und gewahrte eine entgegengesetzte Bewegung der Magnetnadel bei umgekehrter Richtung des galvanischen Stromes; demnächst zeigte ein feines, an die Löthstelle der Wismuth- und Antimonstange gehaltenes Thermometer bei der einen Richtung eine Temperaturverminderung von 0°,88, bei der entgegengesetzten eine Erhöhung von 4°,12 C., endlich aber liefs derselbe Stangen von Wismuth und Antimon von 4,5 Z. Länge und 0,4 Z. Querschnitt an einander löthen, bohrte in die Löthstelle ein kleines Loch, senkte in dieses die Kugel eines feinen Thermometers und füllte den übrigen Raum mit Eisenfeilicht. Ward dieser Apparat in den Strom einer einfachen Volta'schen Kette aus Platin und Zink von 1 Quadratfufs Fläche gebracht, so sank das Thermometer, wenn der positive Strom vom Wismuth zum Antimon ging, um fast 3°,75 C., fing aber nach einiger Zeit wieder an zu steigen, was augenscheinlich von der Erhitzung der Wismuthstange herrührte, die dem Gefühle nach bedeutend erwärmt war, während die Antimonstange in Folge ihres bessern Leitungsvermögens sich kalt zeigte; ging der Strom dagegen umgekehrt vom Antimon zum Wismuth, so stieg das Thermometer 45° C. Noch auffallender aber war folgender Versuch. Lenz füllte das Loch in der Löthstelle mit Wasser, und legte die zusammengelöthete Stange auf schmelzenden Schnee, womit zugleich die beiden Enden bedeckt waren. Hierdurch ging sowohl die Stange, als auch das Wasser in dem Loche auf 0° herab, und letzteres zeigte auch diese Temperatur 10 Minuten lang an einem Thermometer. Als darauf der Strom vom Wismuth zum Antimon die Stange durchlief, gefror das Wasser nach 5 Minuten vollständig; auch zeigte das Thermometer bei wiederholten Versuchen in diesem Wasser — 4°,38 C., und dieses ist also die erste Eisbildung durch Galvanismus.

---

kurze Zeit nicht aus, indem das Thermometer der Bedingung gemäfs etwas fiel oder rascher stieg.

1 Aus Bulletin scient. de Petersb. in Poggendorff's Ann. XLIV. 342.

224) Daſs dieses merkwürdige Verhalten eine Folge der Leitungsfähigkeit der hierbei in Anwendung gebrachten Metalle sey, unterliegt keinem Zweifel, sofern keine andere denkbare Ursache aufzufinden ist; allein es versteht sich von selbst, daſs hiermit das Phänomen noch keineswegs als erklärt zu betrachten sey. Um aber auch in dieser Beziehung einen bessern Anhaltpunct zu haben, verdanken wir den Versuchen von Lenz zugleich eine nähere Bestimmung des elektrischen Leitungsvermögens beider Metalle. Nach der früher von diesem Gelehrten angewandten Methode fand derselbe, die Leitungsfähigkeit des Kupfers zu 100 angenommen,

| | |
|---|---|
| für Quecksilber . . . | 4,66 |
| — Antimon . . . . | 8,87 |
| — Wismuth . . . . | 2,58 |

Wurden beide zusammengelöthete Metalle als Einheit in die Kette eingeschaltet, so war der Leitungswiderstand nur unmerklich verschieden, der Strom mochte die eine oder die entgegengesetzte Richtung haben.

225) Handelt es sich darum, diese Erscheinungen mit der Wärmetheorie in Einklang zu bringen, so zweifle ich in der That, ob es möglich seyn wird, eine genügend sichere und hinlänglich gegen jeden Einwand begründete Erklärung aufzufinden, was wohl davon herrührt, daſs wir das eigentliche Wesen der Elektricität und namentlich das eigenthümliche Verhalten ihrer Durchströmung der Rheophore, ungeachtet der zahllosen bekannten Thatsachen, immer noch nicht genügend kennen. Statt aber diese Schwierigkeiten unberührt zu übergehn, wird es doch rathsamer seyn, die bisher gemachten Versuche einer Erklärung zu erwähnen und diejenigen Hypothesen anzuführen, die sich den meisten Thatsachen am leichtesten anfügen lassen.

Zuvörderst darf nicht übergangen werden, daſs Riess[1] die Materialität der Elektricität deswegen bezweifelt, weil sie ihre erwärmende Kraft in jedem Elemente der durchströmten Drähte äuſsert; allein mir scheint dieses Argument ganz unzulässig, weil jeder materielle Körper die ihm eigenthümlich zukommende Wirkung an jedem Orte äuſsert, wo er sich befindet,

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 62.

und daher auch die Elektricität an jeder Stelle des von ihr durchströmten Rheophors die ihr eigenthümlichen Wirkungen, Erregung von Wärme und Magnetismus, äufsern mufs, ebenso wie z. B. die eine Röhre durchströmende comprimirte Luft gegen jedes gleich grofse Element der Röhrenwandung einen gleich starken Druck ausübt. Dem erwähnten Argumente gerade entgegengesetzt war eine frühere Ansicht von De la Rive[1], wonach er die Wärmeerzeugung durch Elektricität derjenigen analog betrachtete, welche entsteht, wenn ein Gas in Folge eines starken Druckes durch eine enge Röhre geprefst wird, weil er die Elektricität für ein den Gasen ähnliches Fluidum zu halten geneigt war, eine Ansicht, die ihm später allzugewichtigen Einwürfen ausgesetzt zu seyn schien, als dafs er sie nicht aufgeben sollte. Berthollet[2] war anfangs geneigt, das elektrische Fluidum für Wärme selbst zu halten, wollte aber, ehe er sich hierfür entschied, noch einige Versuche anstellen, was denn auch unter Mitwirkung von Gay-Lussac mit den trefflichen Apparaten des Professors Charles geschah und zu einigen allerdings beachtenswerthen Resultaten führte. Dahin gehört die Bemerkung, dafs der zum Glühen gebrachte Platindraht schneller erkalten soll, als wenn er anderweitig bis zu gleicher Temperatur erhitzt war, eine Thatsache, die mir im Allgemeinen noch zu wenig begründet zu seyn scheint, als dafs sie bei der Erklärung des Phänomens vorzugsweise Berücksichtigung verdiente. Wichtiger ist, dafs der Flaschenschlag, wenn er zu schwach ist, den Zusammenhang aller Theile des Drahtes zu trennen, einige Theilchen von seiner Oberfläche ablöst, die als Rauch aufsteigen[3], wogegen ein stärkerer Schlag ihn in lauter Fäserchen zerreifst. Ueberhaupt scheinen ihm diese Wirkungen des elektrischen Stromes nicht sowohl auf einer Temperaturerhöhung, wie durch gewöhnliche Erwärmung, sondern auf einer Art Compression oder auf einem Einflusse auf den Zusammenhang der Körperelemente zu beruhen, denn wenn derselbe durch gasförmige Körper geht, so findet nur eine momentane Ausdehnung derselben, nicht wie durch

---

1 Mém. de la Soc. de Phys. et d'hist. nat. de Génève. T. III. P. I. p. 123.

2 Aus Essay de Stat. chim. in G. XX. 334.

3 Diese Erfahrung ist wohl ziemlich allgemein bekannt.

Wärme, statt, und als die holländischen Physiker ihn durch einen Bleidraht in einem Gefäſse voll Stickgas leiteten, zerstiebte der Draht in metallisches Pulver, statt daſs er durch Hitze in Kugeln geschmolzen seyn würde. Berthollet unterscheidet daher sehr richtig die Wirkungen der Elektricität an sich von denen der Oxydation (des Verbrennens) und glaubt, daſs die ersteren sich bloſs auf Verminderung oder Vernichtung der Cohäsionskraft, auf Trennung und Zerstreuung der kleinsten Theilchen beziehn, wodurch dann zugleich die Oxydation eingeleitet und befördert wird.

226) Die durch Berzelius aufgestellte, bereits mehrmals (§. 29) erwähnte Hypothese hat wegen der groſsen Celebrität dieses berühmten Gelehrten viele Anhänger gefunden. Hiernach ist die Wärme gar kein einfaches Wesen, sondern eine Zusammensetzung aus positiver und negativer Elektricität. Diese Hypothese, die keiner weitern Erläuterung bedarf und sich schon durch ihre Einfachheit empfiehlt, erklärt leicht manche Entzündungen, als des Phosphors, Aethers u. s. w., wenn man annimmt, daſs in diesen Körpern beide Elektricitäten sich vereinigen und in Wärme verwandeln; scheinbar leicht soll sie auch das Erglühen der Metalldrähte erklären, allein bei näherer Untersuchung ergiebt sich evident, daſs nicht bloſs in Beziehung auf dieses letztere, sondern auch im Allgemeinen unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstehn. Zuvörderst geht aus zahllosen Versuchen augenfällig hervor, daſs alle elektrische Erscheinungen bloſs auf einer Trennung oder Verbindung beider Elektricitäten zu einem neutralen 0E. bestehn, ein Satz, welcher unter besonderer Modification sogar die Basis sowohl der Franklin'schen als auch der Symmer'schen Theorie bildete und daher von allen Physikern, auch von Berzelius selbst, als gültig anerkannt wird. Nach der Hypothese des Letztern müſste aber bei jeder Elektricitätserregung, bei jeder Trennung beider Elektricitäten aus dem 0E. = Wärme auf gleiche Weise Kälte entstehn, als durch die Verbindung beider zu 0E. Wärme erregt wird. Durch das Reiben der Glasscheibe einer Elektrisirmaschine und durch die Volta'sche Säule müſste daher Kälte erzeugt werden, statt daſs bedeutende Wärme zum Vorschein kommt. Man beseitigt zwar diese Einwürfe durch die Annahme, daſs das Reiben der Glasscheibe durch sich selbst Wärme, die Trennung der

Elektricitäten Kälte erzeugt, wobei aber erstere in solcher Menge vorhanden seyn soll, dafs ein Theil derselben vorherrschend bleibt. Bei der Säule leidet dieses keine Anwendung, doch könnte man sagen, auch in dieser sey die durch chemische Wirkung erzeugte Hitze im Uebermafs vorhanden. Diese letztere Hypothese ist ohne Widerrede unwahrscheinlicher, als die erstere; auf jeden Fall ist es aber schlimm, eine auf wenige Thatsachen gegründete Hypothese bei ihrer Anwendung auf andere Phänomene stets durch neue, gleichfalls unbegründete Hypothesen unterstützen zu müssen, und also, nach einer sehr wahren Aeufserung von Gauss, ein Verfahren in Anwendung zu bringen, ähnlich dem älteren, als man zur Erklärung der Bahnen der Himmelskörper stets neue Epicyklen hinzufügte. Wenn man im bekannten Versuche von Biot einen geladenen isolirten Conductor einem anderen isolirten ohne Berührung nähert und das 0 E. des letzteren durch Induction trennt, so müfste hierdurch Kälte entstehn, bei der Entfernung des ersten aber Wärme. Beides ist zwar noch nicht durch Versuche ausgemittelt, auf jeden Fall aber höchst unwahrscheinlich. Es bedarf indefs keiner Anhäufung vieler Argumente, da ein unwiderlegliches entgegensteht. Wenn ein langer Draht erglüht, so müfste zur Wärmeerzeugung eine Verbindung beider Elektricitäten in allen Querschnitten des Drahtes statt finden, was jedoch unmöglich ist. Beide Elektricitäten durchströmen denselben in Gemäfsheit der doppelten Durchbohrung eines Stanniolblättchens nach Moll in entgegengesetzter Richtung, und schon dieser Versuch zeigt deutlich, was sich jedoch von selbst versteht, dafs sich beide in entgegengesetzter Richtung strömende Elektricitäten unterwegs nicht verbinden, vielmehr geschieht bei der Batterie die Vereinigung erst bei beiden Belegungen, deren jede die der ihrigen entgegengesetzte aufnimmt und dadurch in den Zustand von 0 E. versetzt wird, bei der einfachen Volta'schen Kette aber nimmt das Zink die positive Elektricität des Kupfers und letzteres die negative des Zinks auf, der Reophor dient blofs als Vehikel der Strömung, eine Verbindung beider Elektricitäten kann in ihm nicht statt finden, denn die zu 0 verbundene Elektricität strömt nicht, schon deswegen, weil sie sonst nach beiden Seiten zugleich strömen müfste, was an sich unmöglich ist. Ein Erglühen des Rheophors wäre also hiernach nicht möglich, am wenigsten ein

fortdauerndes, wollten wir nicht mit der Erklärung der gesammten elektrischen Erscheinungen in Widerspruch kommen.

227) Die Geschwindigkeit, womit die Elektricität vollkommene Leiter durchströmt, und die aufserordentliche mechanische Gewalt, die sie ausübt, führten leicht zu der Erklärung, dafs die Wärme durch dieselbe auf gleiche Weise, als durch Compression, erzeugt werde, allein De la Rive[1] bemerkt mit Recht, dafs dieses wohl auf den momentan wirkenden Flaschenschlag, nicht aber auf den Strom der Volta'schen Säule anwendbar sey, welcher fortdauernd Glühhitze erzeuge. Diese Bemerkung ist zwar unbezweifelt richtig, es darf jedoch zugleich nicht übersehn werden, dafs auch die Reibung fortdauernd Wärme erzeugt, wodurch jedoch, wie an sich klar, das Phänomen selbst keineswegs erklärt ist. Ebendieses ist der Fall, wenn man die Wärmeerzeugung der Elektricität aus ihrer chemischen Wirksamkeit ableiten wollte. Es ergiebt sich also, dafs die Bemühungen der Physiker, dieses interessante, aber auch höchst schwierige Problem zu lösen, bisher vergeblich waren, und daher kann dieses auch hier nicht geradezu beabsichtigt werden, wie wichtig auch eine solche Lösung für die Wärmetheorie überhaupt seyn mag. Dessenungeachtet werden einige allgemeine Bemerkungen hier nicht am unrechten Orte seyn.

*α*) Es ist eine bekannte Sache, dafs Metalldrähte durch den Batteriefunken eine merkliche Veränderung ihres Volumens erleiden[2]. Van Marum sah, dafs ein 18 Z. langer Eisendraht durch einen einzigen Flaschenschlag um mehr als 0,25 Z. verkürzt wurde, und ähnliche Resultate erhielt Nairne, woraus also folgt, dafs das stabile Gleichgewicht der Molecüle durch den elektrischen Strom bedeutend afficirt wird.

*β*) Man hat noch nicht genügend die Frage erörtert, welche Rolle der Leitungsdraht beim Strömen der Elektricität spielt. Für statische Elektricität ist aus früheren Erfahrungen bekannt, neuerdings aber durch Faraday's Versuche erwiesen worden, dafs die Trennung beider Elektricitäten blofs auf der Oberfläche der Conductoren statt findet, bei der dynamischen Elektricität kann dieses jedoch nicht der Fall seyn, vielmehr geht aus

1 Poggendorff's Ann. XV. 258.

2 Fechner's Lehrbuch der Experimentalphysik. Th. II. S. 266.

allen Erscheinungen, namentlich aus der so eben erwähnten Volumensänderung der Rheophore evident hervor, dafs die Elektricität durch die ganze Masse der Leiter strömt.

γ) Auch hierbei könnten die Leiter der Elektricität insofern passiv seyn, dafs ihre eigene 0 Elektricität nicht getrennt würde, sondern beide Elektricitäten in ihnen in entgegengesetzter Richtung strömten, sie könnten aber auch insofern activ seyn, als ihre eigene 0 Elektricität durch den Elektrometer getrennt würde; in beiden Fällen würden die elektrischen Ströme in ihnen die bekannten Veränderungen hervorbringen können. Ohne im mindesten hierüber entscheiden zu wollen, da bis jetzt keine genügend bestimmende Erfahrung vorhanden ist, bin ich geneigt, der letztern Ansicht beizutreten, indem die neuesten Inductionsapparate (die durch Neef sogenannten magnetoelektrischen Rollen) dieselben mindestens wahrscheinlich machen, wonach der elektrische Strom, welcher einen vollkommenen Leiter durchströmt, in einem ihm isolirt genäherten gleichfalls eine elektrische Strömung erregt.

δ) Es scheint mir ein allgemein gültiges Naturgesetz zu seyn, dafs alle Flüssigkeiten, sobald sie bei ihrer Bewegung Hindernisse zu überwinden haben, in Undulationen versetzt werden, die dann mehr oder minder deutlich wahrnehmbar sind. Beispielsweise möge hier nur erwähnt werden, dafs auch die Luftmassen im Sturme deutlich diesen wellenartigen Charakter zeigen. Hiernach wären also auch die elektrischen Ströme nicht als ein stilles Fortfliefsen, sondern als ein wellenartiges Fortschreiten zu betrachten, womit dann auch die Geschwindigkeit ihrer Bewegung bei unleugbar vorhandenem Widerstande besser vereinbar seyn würde.

Wir müssen uns hiernach, um die Naturgesetze mehr zu vereinfachen, folgende Vorstellung machen. Wenn die innere Belegung einer geladenen Flasche oder die Kupferscheibe der einfachen Volta'schen Kette mit einem Metalldrahte in Berührung kommt, so wird die aufgehäufte positive Elektricität die negative im nächsten Elemente des Drahtes trennen, die aber ihre eigene positive Elektricität nicht loslassen würde, wenn diese nicht gleichzeitig durch die negative der äufsern Belegung hierzu bewogen würde. Die trennende Kraft schreitet dann durch die ganze Drahtlänge vermittelst der jedes Element treffenden Einwirkung unglaublich schnell fort, die wirkliche

Trennung findet aber erst dann statt, wenn alle einzelne Theile des Rheophors und beide Belegungen der Flasche mit einander in Conflict gekommen sind. Mit den nöthigen Modificationen gilt dieses von beiden Polen der Volta'schen Säule und dem sie verbindenden Drahte. Man könnte dann annehmen, daſs die mechanische Gewalt einer so unglaublich schnellen Strömung die Wärme durch Compression auspreſste; es dürfte aber angemessener seyn zu einer Art chemischer Einwirkung seine Zuflucht zu nehmen. Allerdings scheint der Umstand, daſs die Erhitzung mit zunehmendem Widerstande wächst, auf eine mechanische Wirkung zu deuten, allein man muſs auch berücksichtigen, daſs chemische Actionen gleichfalls eine gewisse Zeitdauer erfordern, weil eine so schnelle Strömung denkbar wäre, daſs gar kein Einfluſs auf die Molecüle der Körper statt finden könnte. Als Axiom darf zugleich der Satz vom stabilen Gleichgewichte durch den Conflict der attractiven und repulsiven Kräfte auf die Molecüle der Körper angenommen werden, wobei dann die Wärme entweder mit der Repulsivkraft identisch oder doch innigst damit verbunden ist. Wenn man hiernach berücksichtigt, welchen Einfluſs die Elektricität auf die Molecüle der durchströmten Körper ausübt, sofern sie das Volumen der Körper verändert, wie sie ferner im Allgemeinen so kräftig chemisch wirkt, so gewinnt sehr leicht die Vorstellung einen nicht unbedeutenden Grad der Wahrscheinlichkeit, daſs durch diese beiden Wirkungen der getrennten Elektricitäten das stabile Gleichgewicht der Körper aufgehoben und Wärme auf gleiche Weise, als durch die Wirkung chemischer Kräfte bei den Verpuffungen, momentan frei wird.

Peltier's Entdeckung scheint auf den ersten Blick jede Erklärung der Wärmeerzeugung durch Elektricität unmöglich zu machen, inzwischen dürfte folgende Hypothese doch einigen Schein der Möglichkeit gewähren. Die positive Elektricität hat nach vielen Indicien einen höhern Grad der Spannung, als die negative; man könnte ihr daher verhältniſsmäſsig kräftigere Wellen beilegen, ohne daſs diese dennoch im Ganzen den negativen vorauseilen, weswegen auch die Leitungsfähigkeit einer Verbindung von Wismuth und Antimon für jede Richtung der elektrischen Ströme gleich ist, denn beide werden durch das Gesammtverhalten der Elektromotoren und der Rheophore bedingt. Wenn daher die kräftigeren positiven Wellen

aus einem schlechteren Leiter in einen viel besseren übergehn, so kommen sie zu einer momentanen Ruhe, einem momentanen Fortgleiten durch eine kurze Strecke; ihre Wirkung hört auf, die Wärme wird gebunden und es tritt nur dicht an der Löthstelle Kälte ein. Uebrigens verdiente noch untersucht zu werden, ob auch dann Kälte eintritt, wenn die beiden Metalle nicht zusammengelöthet, sondern bloſs in genauer Berührung sind, weil in dem Falle, daſs dann die so höchst auffallende Wirkung wegfiele, auch der Einfluſs des zum Löthen dienenden Metalles bei der Erklärung berücksichtigt werden müſste.

## E. Verhalten der Wärme.

Die sämmtlichen Erscheinungen, welche in diesem Abschnitte zur Untersuchung kommen, pflegte man früher unter *Wärmeleitung* zusammenzufassen, allein es zeigten sich dann so auffallende Widersprüche in den Phänomenen, daſs es nicht möglich wurde, sie zu einigen, noch viel weniger, sie auf bestimmte Gesetze zurückzuführen. So zeigten sich z. B. Körper, denen man auf der einen Seite ein starkes Wärmeleitungsvermögen zuschrieb, weil sie schnell erkalteten, von der andern als schlechte Leiter, weil sie die Wärme nur wenig durch sich hindurchlieſsen. Im Allgemeinen kommt hier das Verhalten der Wärme insofern in Betrachtung, als es sich fragt, nach welchen Gesetzen sie einen Körper verläſst und von einem andern aufgenommen wird, in einigen Körpern sich schnell, in andern langsam ausbreitet, endlich wie sie in den verschiedenen Körpern eine mehr oder weniger hohe Temperatur erzeugt oder gänzlich verschwindet, ohne eine Temperaturerhöhung zu bewirken, obgleich sie durch anderweitige Modificationen der Körper in unverminderter Menge wieder zum Vorschein kommt. Werden alle diese Erscheinungen gehörig gesondert, so lassen sich nicht bloſs die einzelnen füglich unter allgemeine Gesetze bringen, sondern sie fügen sich auch insgesammt ohne Schwierigkeit dem bereits aufgestellten allgemeinen Erklärungsprincipe, ohne daſs innere Widersprüche zurückbleiben, wie der Verfolg der Untersuchungen ergeben wird.

### 1) Wärmestrahlung.

228) Unter Wärmestrahlung verstehn die Physiker meistens ein bereits oben erwähntes Verhalten der Wärme, wonach dieselbe, wenn sie am Tage mit den Lichtstrahlen von der Sonne auf der Erde angelangt ist, schon bei Tage, noch mehr aber bei Nacht, dem leeren Himmelsraume wieder zueilen soll[1]. Gegen diese Hypothese, wie allgemein dieselbe auch von den berühmtesten Physikern angenommen und vertheidigt wird, habe ich mich aus mir unwiderleglich scheinenden Gründen erklärt, zu denen bei der Untersuchung der Wärmepolarisation noch andere gewichtige hinzukommen werden. Dennoch aber stelle ich eine Wärmestrahlung keineswegs in Abrede, wie auch schon nothwendig aus der Annahme von Wärmewellen folgt, jedoch in einem andern Sinne, als dem eben bezeichneten. Wärmestrahlung findet nämlich allezeit statt, wenn die Wärme irgend einer Wärmequelle durch den leeren Raum oder beliebige expansibele und tropfbare Flüssigkeiten und selbst feste Körper nach dem Grade ihrer Diathermanie oder in andere feste oder flüssige Körper übergeht oder auch sich anscheinend bloſs zerstreuet, falls ein sie aufnehmender Körper zu entfernt seyn sollte. Wir wollen zuerst die vorzüglichsten Thatsachen beleuchten, wobei es jedoch schwer ist, die eigentliche Strahlung von der Durchleitung zu trennen, obgleich beide Erscheinungen von den bessern Experimentatoren zugleich berücksichtigt zu werden pflegen.

#### α) Strahlung im Allgemeinen.

229) Der Erste, welcher die Aufmerksamkeit der Physiker auf das Phänomen der Strahlung lenkte, war wohl Mariotte[2],

---

1 Es scheint mir überflüssig, auſser den oben §. 79 ff. bereits erwähnten Autoritäten noch die übrigen vollständig aufzuzählen; denn es wird stets nur das Stattfinden eines Erkaltens bezeugt und dieses hypothetisch von der Strahlung abgeleitet, ohne deren wirkliche Existenz nachzuweisen. Vorzugsweise gelten in dieser Beziehung Wells über den Thau, s. Art. *Thau*, Bd. IX. S. 686. Arago in Annuaire 1828. Boussingault in Ann. de Chim. et Phys. T. LII. p. 260. Poggendorff's Ann. XXXI. 600 und viele Andere.

2 Mém. de l'Acad. 1682. Die noch älteren Versuche der Mitglie-

indem er fand, daſs die Strahlen eines Feuers in einem Hohlspiegel gesammelt auf die im Focus gehaltene Hand brennend einwirkten, was jedoch nicht statt fand, wenn sie durch eine Glastafel aufgehalten wurden. Diese Versuche mit Spiegeln wurden von Du Fay[1] und Cassini[2] wiederholt. Lambert[3] aber unterschied mit seinem gewohnten Scharfsinn sogleich die Wirkungen des Lichts von denen der Wärme, indem er die Strahlen eines hell brennenden Feuers mit einer Glaslinse auffing, aber wenig Wärme im Focus derselben an seiner Hand empfand, wogegen es ihm gelang, durch die Hitze glühender Kohlen vermittelst zweier Brennspiegel leicht entzündliche Körper auf eine Entfernung von mehr als 24 Fuſs in Brand zu setzen. Am interessantesten und belehrendsten sind die Versuche von Scheele[4], welcher zuerst den Namen *strahlende Wärme* einführte und nachwies, daſs die Wärmestrahlen nicht durch den Luftzug abgelenkt werden, durch starke Bewegung der Luft an Intensität nicht verlieren und die Luft selbst nicht erwärmen. Fing er die Strahlen eines Feuers durch eine Glasscheibe auf, so drangen die der Wärme nicht durch, wohl aber die des Lichtes, die sich auch nachher vermittelst einer Linse concentriren lieſsen. Hiernach stellte er den Satz auf, daſs ein Glasspiegel zwar die Lichtstrahlen reflectire, nicht aber die Wärmestrahlen, eine polirte Metallfläche aber beide. Hielt er daher einen metallenen Hohlspiegel dem Feuer entgegen, so wurde dieser selbst nicht heiſs und konnte fortdauernd ohne Nachtheil in der Hand gehalten werden, war aber die Oberfläche desselben geschwärzt, so nahm seine Hitze schon in vier Minuten so sehr zu, daſs man ihn nicht mehr mit der Hand halten konnte. Diese wichtigen Versuche, an die sich die minder bedeutenden von King[5] anreihen lassen, erregten weit weniger Aufmerksamkeit, als sie eigentlich verdienten; mehr aber war dieses der Fall bei den allerdings ausgedehnteren,

---

der der Akademie del Cimento, welche auszumitteln suchten, ob Kältestrahlen vom Eise ebenso als Wärme- und Lichtstrahlen von Metallspiegeln zurückgeworfen würden, scheinen wenig oder gar nicht beachtet worden zu seyn. S. Saggi di naturali esperienze. a cart. 176.

1 Mém. de l'Acad. 1726.

2 Ebendaselbst 1747. p. 25.

3 Pyrometrie. S. 210. §. 378.

4 Versuche über Luft und Feuer. S. 60.

5 Morsels of Criticism. Lond. 1788. 4. p. 1.

welche Pictet[1] theils allein, theils mit de Saussure veranstaltete. Er stellte zwei Spiegel von polirtem Zinn, einen Fuſs im Durchmesser haltend, deren Brennweite 4,5 Z. betrug, in 12 F. Abstand von einander, brachte in den Focus des einen die Kugel eines empfindlichen Thermometers, in den des andern eine eiserne Kugel von 2 Zoll Durchmesser, die anfangs rothglühend war, nachher sich aber so weit abkühlte, daſs sie aufhörte am Tage sichtbar zu glühn. Ein zweites Thermometer wurde so aufgehangen, daſs es sich in gleichem Abstande von der Kugel befand, als das erste, aber nicht im Focus des Brennspiegels. In 6 Minuten, nachdem die Kugel an ihren Ort gebracht war, stieg das erste Thermometer auf 13°,12, das zweite aber bloſs auf 3°,12 C., woraus also hervorging, daſs die Strahlen der Wärme, gleich denen des Lichts, vom Spiegel reflectirt wer denmuſsten. Bei einer Wiederholung des Versuches, als statt der Kugel eine Kerzenflamme genommen wurde, stieg das erste Thermometer gleichfalls um fast 12° C. Wie früher Scheele, wollte auch Pictet die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen trennen, und als das Thermometer durch eine Kerze im Focus von 2°,5 bis 16° C. gestiegen war, hielt er eine Glasscheibe zwischen die beiden Spiegel, wodurch das Thermometer sogleich bis 7°,12 herabging, nach Wegnahme derselben aber wieder zur vorigen Höhe stieg. Daſs das Thermometer nach Einbringung der Glasscheibe nicht ganz wieder zu seinem anfänglichen Stande herabging, betrachtete er als eine Folge einiger das Glas durchdringender Wärmestrahlen und der früher aufgenommenen Wärme, die wieder gegen den Spiegel strahlen sollte. Weiter stellte Pictet in den Focus des einen der 10,5 Fuſs von einander abstehenden Hohlspiegel eine kleine gläserne Phiole mit etwa 2 Unzen siedenden Wassers und ein empfindliches Thermometer in den des andern; in 2 Minuten stieg dasselbe von 8°,33 bis 10°,33 und fiel nach Wegnahme der Phiole auf seinen vorigen Stand. Als nachher die Kugel des Thermometers geschwärzt war, stieg das Thermometer in derselben Zeit von 10°,75 bis 12°,87. Wurde ein gläserner Hohlspiegel statt des metallenen angewandt, so war kein Steigen des Thermometers durch die heiſse eiserne Kugel wahrnehmbar. Pictet wünschte auch die Geschwindigkeit der

1 Versuch über das Feuer. Deutsche Ueb. Tüb. 1790. S. 56 ff. Vergl. Essais de Phys. T. I. p. 63.

Wärmestrahlung zu messen, stellte deswegen die beiden Spiegel 69 Fuſs von einander, brachte in den Focus des einen die eiserne Kugel, in den des andern ein empfindliches Luftthermometer, und hielt einen Schirm zwischen beide. Nach Wegnahme des Schirmes stieg das Thermometer sofort, weswegen er die Geschwindigkeit für unmeſsbar groſs hielt, jedoch begreift man leicht, daſs diese Art der Messung ungenügend ist. Solche Hohlspiegel werden seitdem sehr allgemein gebraucht und heiſsen die *Pictet'schen* Brennspiegel. In der Regel haben sie 18 Z. Chorde und 6 bis 8 Z. Brennweite; man legt in den Brennpunct des einen mit einem Blasebalge versehenen eine etliche Kubikzoll groſse Kohle, bringt in den des andern ein Stück Zündschwamm, entfernt beide auf 12 bis 36 Fuſs von einander und entzündet den Schwamm durch Anblasen der Kohle. Die gewöhnlichen Spiegel dieser Art sind von getriebenem Messingblech und daher unvollkommen; könnte man sie aber ohne zu groſse Kosten von hoch polirtem Spiegelmetall oder Stahl erhalten, so lieſsen sich damit sicher viele belehrende Versuche anstellen. Pictet brachte auch eine kaltmachende Mischung in den Focus des einen seiner Spiegel und sah dann das Thermometer tief herabgehn, betrachtete dieses aber nicht als Kältestrahlung, sondern als eine vom Thermometer aus rückwärts gehende Wärmestrahlung[1].

230) Die bisher erwähnten Versuche bezogen sich auf die Wärmestrahlen, sofern dieselben auf verschiedene Flächen fallen und von diesen verschluckt oder reflectirt werden, wenn wir vorläufig den Durchgang durch das Glas unberücksichtigt lassen; Rumford[2] berücksichtigte bei seinen Untersuchungen nicht bloſs dieses, sondern auch den Einfluſs, welchen die Flächen auf die durch sie dringenden Wärmestrahlen ausüben. Er wurde hierauf durch die Beobachtung geführt, daſs blecherne Gefäſse, wenn sie blanke Oberflächen haben, mit heiſsem Wasser gefüllt in ruhiger Luft langsamer erkalten und nach

---

1 Herschel in Encycl. Met. Art. Heat. p. 292 giebt an, daſs die Mitglieder der Akad. del Cimento 500 ℔. Eis vor einen Hohlspiegel brachten und das Thermometer im Focus dadurch sinken sahn.

2 Mémoires sur la Chaleur. Par. 1804. 8. Philos. Trans. 1804. p. 77. Kurze Notitz in G. XVII. 33 u. 213.

tiefer Erkaltung in heifser Luft langsamer erwärmt werden, als wenn ihre Oberfläche mit dünnem Zeuge überkleidet ist. Rumford bediente sich zu den feinern Versuchen seines *Thermoskops*[1], mittelst dessen er die kleinen Unterschiede der Strahlung messen konnte, indem er zugleich zwischen die beiden Kugeln des Instrumentes Schirme aus Papier mit Goldschaum überzogen brachte, um die eine oder die andere Kugel gegen den Einfluſs der strahlenden Wärme oder auch gegen die von ihm angenommene Kältestrahlung zu schützen. Seine Versuche bezweckten zuerst den Beweis, daſs wirklich eine Strahlung, bestehend in Undulationen, statt finde, weil die Wärme das Thermometer in einer Entfernung afficire, wohin sie durch Mittheilung nicht gelangen könne, eine Folgerung, die in Gemäſsheit der sehr geringen Leitungsfähigkeit wohl als richtig gelten, zugleich aber auf keine Weise so weit ausgedehnt werden kann, daſs zugleich die Materialität der Wärme dadurch widerlegt würde. Rumford füllte daher metallene Cylinder mit Wasser von 82°,22 C. Wärme, brachte sie in verschiedene Entfernungen von den Kugeln seines Calorimeters und beobachtete die Bewegung der Flüssigkeitssäule in der Röhre des letzteren. Alsdann lieſs er gleiche Gefäſse von verschiedenen Metallen verfertigen oder überzog das nämliche mit Goldschaum, Silberschaum u. s. w. und fand, daſs bei gleicher Blänke die Strahlung nicht merklich verschieden war. Demnächst näherte er dieselben Cylinder mit Eis gefüllt oder Eisstücke oder mit eiskaltem Wasser gefüllte Gefäſse den Kugeln des Thermoskops von oben, von unten und von der Seite und gewahrte sogleich eine entgegengesetzte Bewegung der Flüssigkeitssäule. Zugleich entdeckte er, daſs durch Lampenruſs geschwärzte Metallflächen sowohl die Wärmestrahlen, als auch die Kältestrahlen weit leichter aussendeten, als polirte. War der Boden eines metallenen Cylinders mit Goldschlägerhaut bekleidet, so zeigte sich eine 25mal stärkere Wärmestrahlung; in einer Anmerkung wird jedoch hinzugefügt, daſs diese Bestimmungen sehr variiren, je nachdem das Thermoskop empfindlicher ist, und zwar in der Art, daſs ein empfindliches nur ein Verhältniſs von 4:1, ein durch einen Ueberzug mit schwarzem Tusch unempfindlicher gemachtes das

---

1 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 996.

Verhältnifs von 16:1 gab, denn das Thermoskop ist am empfindlichsten, wenn die Kugeln ganz rein sind. Die angegebenen Zahlenbestimmungen können auf jeden Fall nicht als völlig genau gelten. Ein interessanter Versuch unter vielen andern war der, wobei der Kugel des Thermoskops in gleicher Entfernung von beiden Seiten zwei Cylinder gleichzeitig genähert wurden, deren einer ebenso viel wärmer, der andere ebenso viel kälter war als die Temperatur der Kugel, und als sich kein merklicher Einflufs zeigte, glaubte Rumford hierin den Beweis zu finden, dafs die Kältestrahlen von gleicher Intensität seyen, als die Wärmestrahlen. Durch Bekleidung der Cylinderflächen mit Goldschlägerhaut fand er ferner nicht blofs das Ausströmen der Wärme, sondern auch das Einströmen derselben bedeutend verstärkt, und noch mehr, wenn diese Bekleidung mit Tusch geschwärzt war. Gegen die Annahme eigener Kältestrahlen erklärte sich vorzüglich Prevost, indem nach seiner Ansicht die stärkeren Wärmestrahlen heifserer Körper die schwächeren kälterer überwinden; inzwischen hat schon Pictet die Sache richtig aufgefafst, und es bedarf zur Erläuterung dieser Phänomene keiner so ausführlicher Untersuchungen, als Ainger[1] ihr gewidmet hat.

In einem am 25sten Juni 1804 im Institute vorgelesenen Memoir wiederholt Rumford[2] die Resultate dieser seiner Versuche, hauptsächlich um zu beweisen, dafs es keinen Wärmestoff gebe, sondern dafs die diesem beigelegten Phänomene von Wärme- und Kältestrahlen herrühren, wobei er jedoch zugesteht, dafs diese auch in Undulationen des Aethers bestehn können, welcher die Molecüle der Körper umgiebt und ihre Repulsion bewirkt. Als belehrender Zusatz ist aber zu betrachten, dafs die Dicke der Ueberzüge blanker Metallflächen einen Einflufs auf die Zeit des Erkaltens ausübt. Ohne Ueberzug erfolgte die Erkaltung um gleiche Grade in 45 Min.; bei einer Lage Firnifs in 31 Min., bei zwei Lagen in 25,25 Min., bei vier Lagen in 20,75 Min. und bei acht Lagen in 24 Minuten.

231) Gleichzeitig mit Rumford wandte sich auch Leslie[3]

1 The Quarterly Journ. New Ser. N. XIV. p. 378.

2 Mémoires. p. 129.

3 Inquiry into the nature of Heat. Lond. 1804. 8. Vergl. Phi-

zur Untersuchung dieser Aufgabe, wiederholte namentlich die durch PICTET angestellten Versuche, und erweiterte diese insofern, als er nicht blofs die Oberfläche der Spiegel, sowohl der metallenen als auch der gläsernen, sondern auch die Kugeln seines Differentialthermometers, dessen er sich auf gleiche Weise, als RUMFORD seines Thermoskops bediente, mit den verschiedensten Substanzen bekleidete, um deren Ein- und Ausstrahlungsvermögen zu bestimmen. Indem er die Wirkungen eines gläsernen Hohlspiegels untersuchte, den er foliirt und nicht foliirt, mit polirter und rauh gemachter Oberfläche anwandte, gelangte er zu der Ueberzeugung, dafs nicht blofs die Oberfläche der Körper, sondern auch ihre eigentliche Beschaffenheit das Strahlungsvermögen bedinge, was jedoch schwerlich begründet seyn dürfte, wenn auch Glas, als transparenter Körper, hierauf führen sollte; überhaupt erfordert der Durchgang der Wärme durch transparente Körper eine specielle Untersuchung. Die bis dahin erhaltenen Resultate wurden bedeutend erweitert durch die Anwendung eines *hohlen Würfels* aus Metallblech, am besten Messing- oder Kupferblech, von 4 bis 6 Zoll Seite. Da die obere und untere Fläche solcher Würfel nicht in Betrachtung kommen, so sind blofs die vier Seitenflächen zu berücksichtigen. Diese werden in allen Beziehungen einander gleich gewählt, dann bleibt die eine äufsere Fläche polirt, die drei andern werden aber mit verschiedenen Substanzen bedeckt, wozu LESLIE Lampenrufs, Schreibpapier und Kronglas wählte[1]. In der obern Fläche befindet sich eine Oeffnung mit konischer Röhre zum Eingiefsen des heifsen oder eiskalten Wassers, durch welche man zugleich ein Thermometer einsenken kann, und auf der Mitte wird ein hölzerner Knopf zum bequemeren

---

los. Trans. 1816. P. 1. Wiederholung seiner Versuche durch HENRY HUDSON in London and Edinb. Phil. Mag. N. XL. p. 297.

1 Zweckmäfsig ist die eine Seite polirt, die zweite mattgeschliffen, die dritte mit Lampenrufs und die vierte mit verschiedenfarbigen Stoffen überzogen zu wählen. Uebrigens habe ich gefunden, dafs solche Würfel durch längeren Gebrauch weniger wirksam werden, vermuthlich weil die innern Flächen durch etwas Schmuz ihren Einflufs verlieren. Interessant ist bei einem solchen Würfel, dafs bei gleichzeitiger Näherung zweier Finger in gleichen Abständen die polirte Seite kalt, die mit Papier beklebte heifs scheint, bei der Berührung aber das Gegentheil eintritt.

Manipuliren angebracht. Nähert man abwechselnd die verschiedenen Seiten einem Luftthermometer in gleichen Entfernungen, so gewahrt man den Unterschied des Strahlungsvermögens. Leslie glaubt auch gefunden zu haben, dafs der Focus der Wärmestrahlen näher am Spiegel liege, als der der Lichtstrahlen, was jedoch später nicht besonders beachtet und bestätigt worden ist. Derselbe hat die verschiedenen Substanzen nach ihrem Ausstrahlungsvermögen geordnet. Hiernach ist dasselbe in relativen Zahlenbestimmungen ausgedrückt folgendes:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Lampenschwarz . | 100 | Marienglas . . . . | 80 |
| Schreibpapier . . | 98 | Reifsblei . . . . . | 75 |
| Harz . . . . . . . | 96 | rauhes Blei . . . | 45 |
| Siegellack . . . . | 95 | Quecksilber . . . | 20 |
| Kronglas . . . . | 90 | blankes Blei . . . | 19 |
| Tusche . . . . . | 88 | polirtes Eisen . . | 15 |
| Eis . . . . . . . . | 85 | Zinnplatte . . . . | 12 |
| Mennig . . . . . | 80 | Gold, Silber, Kupfer | 12 |

Das Ausstrahlungsvermögen des Wassers nimmt er nach Schätzung zu 100 an, doch ist diese Bestimmung wohl sehr ungewifs, und überhaupt kommt es ohne Zweifel sehr auf die Dicke der Ueberzüge an. Melloni[1] bestimmte vermittelst seines Thermomultiplicators und der Anwendung eines Leslie'schen Würfels mit siedendem Wasser das relative Ausstrahlungsvermögen von sechs Substanzen, und fand dasselbe für Kienrufs = 100, Bleiweifs = 100, Hausenblase = 85, Gummilack = 72, Metallfläche = 12. Auf gleiche Weise hat Leslie verschiedene Substanzen nach der verhältnifsmäfsigen Stärke ihres Reflexionsvermögens geordnet.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Messing . . . . . | 100 | Blei . . . . . . . | 60 |
| Silber . . . . . . | 90 | Zinnfolie in Quecksilber erweicht | 10 |
| Zinnfolie . . . . | 85 | Glas . . . . . . . | 10 |
| Blockzinn . . . . | 80 | Glas mit Wachs oder Oel überzogen . | 5 |
| Stahl . . . . . . . | 70 | | |

1 Poggendorff's Ann. XXXV. 572.

Inzwischen ist nicht zu bezweifeln, dafs, wie beim Lichte, so auch bei der Wärme die Höhe der Politur einen grofsen Einflufs ausübt. Auf eine interessante Weise und zugleich mit Beziehung auf praktischen Nutzen hat R. W. Fox[1] das Strahlungsvermögen ungleicher Flächen durch die Menge des niedergeschlagenen Wasserdampfes bestimmt. Zwei gleiche hohle Würfel von Weifsblech, 4 Zoll Seite haltend, waren mit einem Kessel so durch Röhren verbunden, dafs das in ihnen niedergeschlagene Wasser durch einen geöffneten Hahn ablief, das in den Röhren verdichtete aber in den Kessel zurückflofs. Die Oberfläche des einen Gefäfses war blank, die des andern mit Lampenrufs geschwärzt, und das Verhältnifs der Strahlung beider war 972 zu 1736 oder wie 1:1,786. Aeltere Versuche ebendesselben[2], wobei er metallene Gefäfse mit heifsem Oel gefüllt, theils blank, theils mit geschwärzter Oberfläche, für sich allein oder in andere etwas weitere Kästchen eingeschlossen, unter einer Campane in atmosphärischer Luft oder in exantlirter erkalten liefs, beweisen im Allgemeinen, dafs die Erkaltung im Vacuum langsamer, als in der Luft erfolgt. Die Wirkung geschwärzter Oberflächen ist anderweitig genügend bekannt, weniger aber, dafs das Hineinsetzen in die umgebenden Kästchen die Zeit des Erkaltens im Ganzen verkürzte.

232) Unter diejenigen, welche schätzbare Versuche über Wärmestrahlung anstellten, gehört auch Maycock[3], dessen Bemühungen zu ihrer Zeit mehr Anerkennung verdient hätten, als ihnen zu Theil wurde, da er den Einflufs des Lichtes gänzlich ausschlofs, indem er ein Gefäfs mit heifsem Wasser in den Brennpunct des einen Spiegels stellte. Aufserdem wandte er Tafeln von verschieden gefärbtem Glase zum Auffangen der Wärmestrahlen an, und bemerkte, dafs diese eine ungleiche Menge derselben durchlassen, worauf wir hier blofs deswegen nicht weiter eingehen, weil dieser Gegenstand neuerdings viel gründlicher und in ungleich gröfserem Unfange behandelt worden ist. Eine grofse Menge Versuche über Wärme-

---

1 Edinburgh Journ. of Science. N. XVIII. p. 232.
2 Philosoph. Magaz. or Annals. T. XI. p. 345.
3 Nicholson's Journ. T. XXVI. p. 75. Bibl. Brit. T. XLV. p. 213.

strahlung hat ferner Prevost[1] angestellt; sie enthalten jedoch nicht sowohl nur Thatsachen, als vielmehr die Elemente zur Begründung seiner Theorie, von welcher weiter die Rede seyn wird. Die Versuche von de la Roche[2] waren hauptsächlich bestimmt, die Modificationen der Licht- und Wärmestrahlen kennen zu lernen, welche sie beim Durchgange durch verschiedene Arten Glas erleiden, inzwischen beweisen sie zugleich, man darf wohl sagen unzweifelhaft, einen allerdings hierher gehörigen Satz, daſs nämlich die Quantität Wärme, welche ein erhitzter Körper in einer gegebenen Zeit gegen einen in gewissem Abstande entfernten Körper ausstrahlt, unter übrigens gleichen Umständen in einem gröſseren Verhältnisse wächst, als in dem des Temperaturunterschiedes beider Körper. Unter die minder ausführlichen Behandlungen des Problems der Strahlung gehören auch die Versuche von Ritchie[3]. Das *Differentialthermometer*, dessen er sich dabei bediente, bestand aus 2 bis 6 oder gar 8 Zoll im Durchmesser haltenden 0,25 bis 1 Zoll dicken hohlen Cylindern von Messingblech oder dünnen Zinnplatten, die durch eine U-förmig gebogene Glasröhre verbunden waren. Die groſse Menge der in diesen Cylindern enthaltenen Luft muſste beim geringsten Wechsel ihrer Temperatur den kleinen Cylinder der in der Glasröhre eingeschlossenen gefärbten Flüssigkeit durch einen groſsen Raum bewegen, und zugleich waren die äuſsern Flächen der Cylinder mit Lampenruſs überzogen. Es ergab sich bei der Anwendung von Gefäſsen mit heiſsem Wasser und erhitzten Metallkugeln im Ganzen, daſs die Intensität der Wärmestrahlung den Quadraten der Enfernung umgekehrt proportional ist. Man nimmt dieses Gesetz sehr allgemein als gültig an, und auch sonstige Versuche dienen zur Unterstützung desselben, da man es ohnehin als theoretisch wohl begründet betrachten muſs. Leslie[4] fand jedoch aus seinen Versuchen mit dem Photometer, daſs die Abnahme der Intensität dem einfachen Verhältniſs der Abstände sehr nahe proportional sey, und er sucht dieses

1 Essay sur le Calorique rayonnant. Génève 1809.

2 Journ. de Physique. T. LXXV. p. 201. Annals of Philos. T. II. p. 100.

3 Edinburgh Journ. of Science. N. XIV. p. 350.

4 An exper. Inquiry into the nature and propag. of Heat. exp. 15 u. 16.

mit seiner Theorie zu vereinigen, obwohl andere Versuche ihn auf das Gesetz der Abnahme nach dem umgekehrten quadratischen Verhältnisse führten. MELLONI[1] hat nicht blofs durch genaue Versuche die Gültigkeit dieses Gesetzes völlig erwiesen, sondern auch die Ursachen aufgefunden, welche LESLIE's Irrthum herbeiführten.

233) Bei allen diesen Untersuchungen bleibt die Frage unbeantwortet, ob durch gleiche Beschaffenheit der Oberflächen ebenso die *Einstrahlung* als die *Ausstrahlung* der Wärme bedingt wird. Zur Beantwortung derselben hat RITCHIE[2] Versuche mit einem eigens hierzu verfertigten, sehr zweckmäfsigen Apparate angestellt. Dieser besteht aus einem grofsen *Differentialthermometer* mit Cylindern vom dünnsten Eisenblech
Fig. 47. F und G, welche 3 bis 4 Z. hoch und 1 Z. dick auf die Enden einer an beiden Seiten rechtwinkelig aufgebogenen Glasröhre aufgesteckt sind. Der horizontale Theil AB dieser Glasröhre ist etwa 1 Fufs lang, jeder aufwärts gebogene Arm AD, BC vier bis fünf Z. hoch und oben in die Kugeln C und D aufgeblasen, um mehr Flüssigkeit aufzunehmen und ihr Eindringen in die hohlen Cylinder zu verhindern. Die innere Hälfte des einen der beiden Cylinder ist durch Lampenrufs geschwärzt oder mit einem sonstigen, die Strahlung befördernden Ueberzuge bedeckt, der andere behält seine blanke Oberfläche bei. In der Mitte der Glasröhre wird eine hölzerne Säule aufgerichtet und auf diese ein hohler Cylinder aus dünnstem Weifsbleich von gleicher Höhe und Dicke, als die beiden an den Enden der Glasröhre, gesteckt, dessen eine verticale Hälfte gleichfalls geschwärzt oder mit einem gleichen Ueberzuge versehn ist. Wird der mittlere Cylinder mit heifsem Wasser gefüllt und seine geschwärzte Seite der blanken des äufseren Cylinders gegenüber gestellt, so bleibt die Flüssigkeit im Differentialthermometer unbeweglich, steigt aber augenblicklich, wenn die geschwärzte gegen die gleichfalls geschwärzte des äufseren Cylinders gerichtet ist, woraus also hervorgeht, dafs die Stärke der Ausstrahlung von der Stärke der

1 Mém. de l'Acad. T. XIII. p. 572. Bibl. univ. T. XIII. p. 371. Poggendorff's Ann. XXXIX. 566. XLIV. 124.

2 Journ. of the Royal Inst. N. IV. p. 305. Poggendorff's Ann. XXVIII. 378.

Einstrahlung bei der Gleichheit der Oberfläche gleicher Körper nicht verschieden ist. Inzwischen beweiset dieser Versuch blofs für Kienrufs unter ganz gleichen Bedingungen, ist aber damit noch nicht für alle übrige Substanzen gültig, wie Melloni's[1] Versuche beweisen. Dieser überzog gleiche Kupferscheiben mit den Substanzen, deren Absorptionsvermögen er untersuchen wollte, stellte sie vor die thermoelektrische Säule, liefs die Strahlen einer Lampe ohne Schirm darauf fallen und beobachtete die Ablenkungen der Nadel. Auf diese Weise erhielt er für Kienrufs 100, Bleiweifs 53, Hausenblase 52, Tusch 96, Gummilack 43, Metallfläche 14. Diese Gröfsen stimmen mit den (§. 231) für die Ausstrahlung gefundenen nicht überein, auch ergeben später (§. 264) zu erwähnende Versuche, dafs das Absorptionsvermögen der Körper anderen Bedingungen, als das Ausstrahlungsvermögen unterliegt, weswegen wir hier auf diese Untersuchungen verweisen.

234) Zuerst Rumford[2] und nach ihm mehrere Andere haben von dem Einflusse der Oberflächen der Körper auf die Aus- und Einstrahlung der Wärme Anwendungen auf technische und sonstige Einrichtungen gemacht. Es liegt nämlich sehr nahe, da man so oft ebensowohl die Ausstrahlung, als auch die Einstrahlung der Wärme zu verhüten strebt, dafs man hierzu die Blänke oder die Rauheit der Oberflächen benutzen könne. So werden blanke Küchengeschirre die Wärme weniger einströmen lassen und daher gröfsern Aufwand an Feuerungsmaterial erfordern, blanke Röhren dagegen die Wärme, die man den Zimmern zuzuführen wünscht, nicht genügend ausstrahlen lassen, und Oefen mit rauher Oberfläche sind aus diesem Grunde vortheilhafter als mit glasirter. Benutzt man die durch Röhren geleiteten Wasserdämpfe zum *Heizen der Zimmer*[3], so dürfen diese Röhren nicht blank seyn, denn Tredgold[4] findet das Ausstrahlungsvermögen von Weifsblech = 100, von Glas = 155, von Eisenblech mit glatter schwarzer Oberfläche =156 und von Eisenblech mit brauner Oberfläche = 180,

1 Poggendorff's Ann. XXXV. 572.

2 Mémoires. p. 123.

3 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 406.

4 Grundsätze der Dampfheizung u. s. w. Ueb. von Kühn. Leipz. 1826. S. 32.

weswegen letzteres für diesen Zweck am geeignetsten ist. Rumford[1] bemerkt auch, dafs in silbernen Kannen ein besserer Thee gemacht wird, als in irdenen, weil das Wasser die zum Ausziehn der Blätter erforderliche Siedehitze länger behält. Vermuthlich beruht auf der schwierigen Einströmung der Wärme in blanke Flächen die allgemein beobachtete Thatsache, dafs die Stubenfliegen sich zur Herbstzeit so gern auf blanke Gegenstände, vergoldete Rahmen u. s. w. zu setzen pflegen.

235) Obgleich eine Erklärung der bisher erörterten Thatsachen erst nach der Betrachtung aller damit zusammenhängender und verwandter Phänomene gegeben werden kann, so dürfte es doch angemessen seyn, dasjenige vorläufig hier beizubringen, was sich zunächst auf die Wirkungen der Oberflächen bezieht. Man nimmt allgemein an, und insbesondere ist dieses am bestimmtesten durch Leslie ausgedrückt worden, dafs die blanken Flächen, als solche, die Strahlung hindern, allein Melloni[2] verwirft diese Ansicht. Zuerst fand er, dafs Elfenbein, Marmor und Gagat durch die Politur keine Aenderung des Strahlungsvermögens erleiden und die Erscheinung also blofs bei Metallen statt findet, bei denen er dann die Ursache davon ableitet, dafs polirte Flächen härter sind und durch die Politur härter werden, welche Härte dann der Strahlung widerstehn soll. Einen directen Beweis hierfür glaubte er durch Silber führen zu können, indem gegossene Platten, wenn sie mit möglichster Vermeidung von Druck polirt waren, nach Wegnahme der Politur durch Schmirgelpapier sogar weniger strahlten, als die polirten, statt dafs bei gehämmerten das Gegentheil statt fand. Wie scheinbar beweisend indefs diese Versuche auch seyn mögen, so mufs man doch wohl erwägen, dafs diese Härte der Metalle zwar nach Wegnahme der Politur durch Schmirgelpapier als verschwunden zu betrachten seyn könnte, aber nicht beim Ueberziehn mit Lampenrufs, und sie müfste daher in diesem Falle nicht aufhören, die Strahlung zu hindern, wenn sie es überhaupt vermöchte.

236) Leslie[3] nimmt an, dafs die Wärme von strahlen-

---

1 A. a. O. G. LI. 338.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 435. Edinburgh New Phil. Journ. N. LII. p. 299. l'Institut. 6me Ann. N. 241. Poggendorff's Ann. XLV. 57. Compt. rend. T. VII. p. 298.

3 Hauptsächlich in: Relation of Air to Heat and Moisture. p. 21 ff.

den Körpern an entfernte durch Undulationen der Luft fortgeführt werde, wobei er sich auf die Analogie mit dem Schalle beruft, zugleich aber gesteht, dafs es schwer sey, die eigentliche Art, wie die Strahlung geschehe, klar nachzuweisen, was auch unzweifelhaft der Fall ist. Nach seinen eigenen Worten geschieht die Fortpflanzung nicht durch ein Strömen der Luft, denn die Bewegung, selbst die gewaltsamste, hat keinen Einflufs darauf, und die Luft mufs also, ohne ihren Ort zu verändern, die Eindrücke, die sie durch eine Art undulatorischer Bewegung erhält, auf gleiche Weise verbreiten, wie sie die Eindrücke des Schalles fortpflanzt. Wenn die Lufttheilchen, welche dem heifsen Körper am nächsten sind, plötzlich Wärme von diesem aufnehmen, so dehnt sich die Luft aus und beginnt hiermit die Kette der Pulsationen. Indem diese die Oberfläche der Körper berührende Schicht sich wieder zusammenzieht, giebt sie ihren Ueberschufs von Wärme an die nächste ab, die dadurch zur Expansion kommt, und so gehn die Wellen nach allen Seiten fort.

Gegen diese Ansicht, dafs die Luft hierbei als Vehikel diene, streitet aber die durch Lambert[1] gemachte Erfahrung, dafs die Strahlung in verdünnter Luft noch besser statt findet, worauf sich auch de Saussure[2] bezieht, insbesondere aber hat H. Davy[3] durch einen eigenen Apparat dargethan, dafs in 120mal verdünnter Luft die Strahlung dreimal stärker ist, als in solcher unter atmosphärischem Drucke. Wird nämlich der feine Platindraht a durch den Strom einer Volta'schen Säule Fig. 48.
glühend gemacht, so fängt der Spiegel S′S′ die Wärmestrahlen auf, sendet sie zum Spiegel SS und bringt das Thermometer t im Brennpuncte desselben zum Steigen. Um den Einflufs der Verschiedenheit der Flächen, z. B. der metallischen und nicht metallischen, der polirten und rauhen, mit seiner Hypothese in Einklang zu bringen, nimmt Leslie seine Zuflucht zu einer mehr oder minder innigen Berührung der Luft und der Flächen, wonach z. B. die Luft von polirten Metallflächen mindestens 0,002 Z. Abstand haben soll. Hiergegen

1 Pyrometrie. sect. 492.

2 Essay sur l'Hygrométrie. p. 232.

3 Library of useful knowledge. T. I. Heat. p. 31. Vergl. Henry Elements of Chimistry. T. I. p. 83.

erinnert aber RITCHIE[1] mit Recht, daſs die Wärme, sobald sie sich einmal durch einen leeren Raum von 0,002 Z. bewegen kann, sich auch durch einen gröſsern zu bewegen im Stande seyn müſste. Insbesondere aber stellte Letzterer ihm die Resultate seiner Versuche entgegen[2], wonach die Wärmestrahlen, auch die nicht leuchtenden, sehr dünne, fast Newton'sche Farben zeigende Glasscheiben und Häutchen von Eiweiſs oder etwas klebrig gemachtem Wasser durchdringen, was geradezu gegen eine Bewegung der Luft streite. LESLIE suchte zwar diesen Einwurf durch die Hypothese zu beseitigen, daſs die Wärme sich der einen Seite der Schirme mittheile und von der andern dann wieder abgegeben werde, womit BREWSTER[3] insofern übereinstimmt, als nach ihm die Wärme gar nicht durch transparente Schirme dringen, sondern namentlich das Glas auf der einen Fläche erwärmen und dann von der andern durch secundäre Schwingungen wieder abgegeben werden soll; bekanntlich aber werden solche transparente Schirme selbst nicht warm. Die ganze künstlich selbst geschaffene Schwierigkeit liegt offenbar bloſs darin, daſs LESLIE Bedenken trug, dem überall verbreiteten Wärmestoffe Undulationen beizulegen, was doch bei der auffallenden Aehnlichkeit zwischen Licht und Wärme ebenso einfach als sachgemäſs gewesen wäre. Bei dieser so nahe liegenden Hypothese ist man sogar vorläufig der Mühe überhoben, die Aetiologie der Wirkungen polirter Flächen und des Unterschiedes ihres Verhaltens von dem der rauhen nachzuweisen, da die Lichtwellen durch ebendiese auf gleiche Weise afficirt werden. Als genügend dürfte in dieser letzten Beziehung die Erklärung wohl nicht erscheinen, welche LEBLANC[4] giebt, wonach das stärkere Strahlungsvermögen rauher Oberflächen eine Folge davon seyn soll, daſs sie eben durch die Rauheit mehr Berührungspuncte darbieten sollen.

---

1 Edinburgh Journ. of Sc. N. XV. p. 137.

2 Philos. Trans. 1826. Edinburgh Journ. of Science. N. XIV. p. 348.

3 Philos. Trans. 1816. p. 106.

4 L'Inst. 6me Ann. N. 252. p. 346.

### β) Gesetze des Erkaltens.

237) Wir haben bisher die Oberflächen der Körper nur insofern betrachtet, als sie ohne Rücksicht auf die durch dieselben eingeschlossenen Körper die Wärmestrahlen theils eindringen oder herausdringen lassen, theils zurückwerfen und zurückhalten; wir müssen sie aber nothwendig auch in ihrer Beziehung zu den eingeschlossenen Massen und die letzteren selbst rücksichtlich ihres Verhaltens zur Wärme betrachten, was dann zu den vielfach untersuchten Gesetzen der *Abkühlung* und der damit eng verbundenen, ihr entgegengesetzten *Erwärmung* führt. Sollen diese für sich und ohne Rücksicht auf den Einfluſs der umgebenden Medien untersucht werden, was das eigentliche Ziel der Aufgabe seyn müſste, so würde erfordert werden, bloſs die im luftleeren Raume angestellten Versuche zu berücksichtigen; da aber solche mit unüberwindlichen Schwierigkeiten verknüpft sind, so wurden die meisten in ruhiger und trockner Luft angestellt, unter der Voraussetzung, daſs diese auf die Abkühlungsgesetze keinen bedeutenden Einfluſs habe oder mindestens auf diesem Wege vergleichbare Resultate zu erlangen seyen. Erkaltet ein Körper im absoluten Vacuum, so geschieht dieses bloſs durch Strahlung, und die Gesetze hierüber können rein dargestellt werden; befindet er sich aber in irgend einer Umgebung, so entzieht diese ihm durch Berührung gleichfalls einen, nach ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit verschiedenen Theil seiner Wärme und die Erscheinung wird verwickelter. Hieraus wird leicht erklärlich, warum die Resultate über dieses Problem so verschieden ausgefallen sind. Uebrigens ist diese Aufgabe von so vielen bedeutenden Männern und in solcher Ausführlichkeit behandelt worden, daſs es nicht leicht ist, sich bei einer übersichtlichen Zusammenstellung ihrer Arbeiten kurz zu fassen.

238) Theoretisch wurde diese Aufgabe zuerst behandelt durch Newton[1]. Dieser dachte sich, um einen besseren Anhaltpunct zu haben, eine Kugel, und nahm an, daſs diese, aus einer willkürlichen Menge dünner Kugelschichten bestehend, zunächst die Wärme der äuſsersten abgebe, die dann durch die

---

1 Philos. Trans. 1701. N. 270. Princ. L. III. Prop. VIII. Coroll. 4. Opusc. T. II. p. 423. opusc. XXI.

angrenzenden von der einen zur andern bis zum Centrum fortschreitend der Stärke der Spannung gemäſs wieder ersetzt werde, woraus folgt, daſs die Zeiten des Erkaltens die Logarithmen der Temperaturen welche die Körper im Verhältniſs zu ihrer Umgebung haben, seyn müssen, oder daſs letztere eine logarithmische Curve bilden. Hierbei blieb er jedoch nicht stehn, sondern seiner Gewohnheit nach prüfte er die Theorie durch die Erfahrung, wie unvollkommen auch seine Mittel hierzu waren. Zu diesem Ende benutzte er ein von Prinsep[1] später angegebenes thermometrisches Mittel, nämlich die Schmelzpuncte verschiedener Metalle und sonstiger Körper, erhitzte eine hinlänglich groſse Eismasse bis zum Glühen, brachte sie an einen kühlen Ort, wo stets gleichmäſsig frischer Luftzug herrschte (und die Umgebung daher wahrscheinlich von stets gleichbleibender Temperatur war), und beobachtete die Zeiten des Erstarrens der verschiedenen darauf geschmolzenen Substanzen. Hierdurch fand er, daſs für die in arithmetischer Reihe zunehmenden Zeiten die Temperaturunterschiede zwischen der erkaltenden Masse und der Umgebung in einer geometrischen Reihe abnahmen, was man seitdem das *Newton'sche Gesetz des Erkaltens* genannt hat. Dieses Gesetz ist später durch Fourier[2] und Poisson[3] vermittelst eines ebenso gelehrten als höchst eleganten Calcüls ausführlich entwickelt worden, jedoch gestatten diese classischen, hauptsächlich für den Mathematiker höchst interessanten Arbeiten keinen kurzen Auszug. Die zahlreichen Bemühungen der übrigen Gelehrten beziehn sich vorzugsweise, wo nicht ausschlieſslich, darauf, jenes Gesetz durch die Erfahrung zu prüfen, und hiervon wollen wir das Wichtigste kurz mittheilen.

239) Zuerst wollte Martine[4] aus seinen Versuchen gefunden haben, daſs das Newton'sche Gesetz mit der Erfahrung nicht übereinstimme, wie Amontons[5] schon früher behauptet

---

1 S. Art. *Pyrometer*. Bd. VII. S. 109.

2 Théorie analytique de la Chaleur. Par. 1822. 4. Chap. IX. p. 428 ff.

3 Théorie mathématique de la Chaleur. Par. 1835. 4. Chap. II et III.

4 Dissertation sur la Chaleur. Par. 1751. p. 69.

5 Mém. de l'Acad. de Par. 1702. p. 1 ff.

hatte, weil er den eigentlichen Sinn Newton's nicht verstand. Barnaart[1] folgerte anfangs aus seinen Versuchen, daſs Musschenbroek der Wahrheit näher gekommen sey, indem er annehme, daſs von der geometrischen Progression eine arithmetische abzuziehn sey, wenn man das Gesetz der Abkühlung genau bestimmen wolle. Kraft und nach ihm Richmann[2] fanden, daſs das Newton'sche Gesetz mindestens annähernd richtig sey, wenn der Ueberschuſs der Wärme des erkaltenden Körpers über die der Umgebung nicht mehr als etwa 22° bis 27° C. betrage, für höhere Temperaturen aber nicht ausreiche. Dagegen zeigte Lambert[3] die Uebereinstimmung desselben, ohne diese Beschränkung, sowohl mit theoretischen Principien, als auch mit den Resultaten seiner eigenen Versuche, und entwickelte Formeln zur Berechnung der verschiedenen Gröſsen; allein Erxleben[4] folgerte aus seinen Versuchen, daſs man sich stets weiter von der Wahrheit entfernen werde, je gröſser der Unterschied der Temperaturen des erkaltenden Körpers und seiner Umgebung sey, und daſs man daher das fragliche Gesetz nicht weiter ausdehnen könne, als die Erfahrung reiche[5]. In seinen Untersuchungen über das Verhalten der Wärme berührte Leslie[6] gleichfalls diese Aufgabe, und gelangte durch seine Versuche dahin, daſs das Newton'sche Gesetz im Allgemeinen als gültig anzunehmen sey, jedoch erzeuge die Beschaffenheit der Oberfläche des abkühlenden Körpers einen merkbaren Unterschied. Nach ihm verliert der Körper seine Wärme theils durch die eigenthümliche ableitende Kraft der Luft, theils durch das Aufsteigen der durch Berührung erwärmten Luft, theils endlich durch wirkliche Strahlung, und da Letzteres die eigentliche Aufgabe betrifft, so sucht er die drei Gröſsen zu trennen, ohne dabei auf Versuche, im luftleeren Raume angestellt, zu fuſsen. Dalton[7] prüfte Leslie's

---

1 Dissert. inauguralis. Traj. ad Rhen. 1772.

2 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 174.

3 Pyrometrie §. 254 ff.

4 Nov. Comm. Soc. Gott. T. VIII. p. 74.

5 Buffon's Versuche über das Erkalten von Kugeln in Hist. Nat. T. V. ed. Sonnini übergehe ich, weil die thermometrischen Bestimmungen zu wenig genau sind.

6 Inquiry into the nature of Heat. Lond. 1804.

7 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissen-

Sätze, die er im Ganzen als gültig anerkennt, zum Theil aber widerlegt, den wesentlichsten Theil seiner Untersuchungen bilden aber vier Versuchsreihen, durch welche er selbst unter verschiedenen Modificationen das angegebene Gesetz bestätigt fand, wonach die Temperaturen für gleiche Zeitintervalle in einer geometrischen Progression abnehmen. Dieses Resultat ist aber nach DALTON nur dann richtig, aber auch absolut richtig, wenn die gewöhnliche Thermometerscale nach seiner Angabe abgeändert wird, worauf jedoch die Physiker bis jetzt noch nicht eingegangen sind.

240) Die französischen Gelehrten haben viel für die Aufhellung dieses Problems gethan; wir besitzen von ihnen drei sehr gehaltreiche Abhandlungen, unter denen die von DELAROCHE[1] den Anfang macht. Dieser folgerte aus seinen Versuchen, daſs das Newton'sche Gesetz, wonach zwei Körper in verschwindend kleinen Zeiten sich wechselsweise von ihrer freien Wärme eine ihren ungleichen Wärmemengen oder dem Unterschiede der Temperaturen beider proportionale Menge mittheilen müssen, nur annähernd, und zwar für geringe Temperaturunterschiede, nicht aber allgemein, gültig sey. Für Temperaturen unter 200° C. gebrauchte er ein eisernes, mit Quecksilber gefülltes Gefäſs, dessen Temperatur er vermittelst eines eingesenkten Thermometers maſs, für höhere Temperaturen wählte er eine kupferne Kugel, die er bis zum Glühen erhitzen konnte und deren Wärme in einem solchen Zustande er aus derjenigen Quantität bestimmte, die sie, mit Rücksicht auf die verschiedene Wärmecapacität beider Körper, einer gemessenen Menge Wasser mittheilte. Zum Messen der ausgestrahlten Wärme diente ihm ein feines Thermometer mit geschwärzter Kugel, in andern Fällen aber wandte er kleine Würfel von Eis an, deren Gewicht genau bestimmt und dann die erhaltene Wärme aus dem Antheile, der von ihnen in gegebener Zeit geschmolzen war, gemessen wurde. Um auffal-

schaft. Th. I. S. 114 ff. W. RITCHIE in Edinb. Phil. Journ. N. XXII. p. 281. XXIII. p. 15 stellt gleichfalls Betrachtungen über LESLIE's Behauptungen an, die mir aber von untergeordnetem Werthe zu seyn scheinen.

1 Sur le calorique rayonnant. In Journ. de Phys. T. LXXV. p. 201. Nach der Darstellung in BIOT Traité. T. IV. p. 628.

lendere Wirkungen zu erhalten, bediente er sich zweier Pictet'schen Spiegel, nachdem er sich überzeugt hatte, daſs hierdurch kein anderer Effect, als durch directe Einwirkung erzeugt werde. Die hierbei erforderlichen Vorsichtsmaſsregeln, um anderweitige störende Einflüsse, namentlich der umgebenden Luft, zu entfernen, blieben von ihm nicht unberücksichtigt. Bei jedem Versuche wartete er, bis das Thermometer, welches die Wärmestrahlen auffing, stationär wurde, und wenn dann die Grade dieses letzteren durch t, die Grade des hunderttheiligen Thermometers im Quecksilber durch T ausgedrückt werden, so gaben zwei Reihen von Versuchen folgende Gröſsen:

| Erste Reihe. Nr. | T | t | Zweite Reihe. Nr. | T | t |
|---|---|---|---|---|---|
| Versuch 1 | 81° | 4°,7 | Versuch 1 | 41°,4 | 1°,69 |
| 2 | 89 | 4,5 | 2 | 42,3 | 1,69 |
| 3 | 131 | 9,1 | 3 | 42,4 | 1,46 |
| 4 | 172 | 13,1 | 4 | 80,2 | 3,56 |
| 5 | 175 | 14,6 | 5 | 80,8 | 3,56 |
| 6 | 205 | 17,4 | 6 | 82,4 | 3,56 |
| | | | 7 | 134,0 | 7,06 |
| | | | 8 | 135,3 | 7,57 |
| | | | 9 | 158,5 | 10,73 |
| | | | 10 | 162,1 | 9,66 |
| | | | 11 | 175,4 | 12,32 |
| | | | 12 | 187,5 | 13,52 |

Wenn man die Werthe der T als Abscissen nimmt und die Werthe der t als Ordinaten darauf fällt, so läſst sich der unvermeidlichen Abweichungen ungeachtet die erhaltene Curve durch die Gleichung

$$t = a\,T + b\,T^3$$

ausdrücken, worin a und b zu bestimmende Constanten sind. Biot hat dieselben bestimmt, und findet, daſs hiernach die Beobachtungen mit der Theorie sehr gut übereinstimmen, indeſs bestätigt sich die Angabe des Delaroche, daſs die Abweichung vom Newton'schen Gesetze sehr schnell abnimmt und bei Temperaturen, die 100° C. nicht übersteigen, gänzlich verschwindet. Die Berechnung einiger andern Versuchsreihen mit der kupfernen Kugel, deren Temperatur auf die angegebene Weise in dem Momente gefunden wurde, als das Thermometer stationär war, solcher, wobei Thermometer mit geschwärzten und freien Kugeln oder auch schmelzende Eisstücke die

Wärme anzeigten, sowohl bei der Anwendung von Spiegeln, als auch bei freier Strahlung, liefs die nämliche Formel zu, nur waren die Constanten a und b verschieden, wie sich schon in voraus vermuthen liefs [1]. Dafs übrigens der Einflufs der Luft auf die durchgehenden Wärmestrahlen nicht unbeachtet bleiben dürfe, konnte beiden Physikern nicht wohl entgehn.

241) Unter den (§. 230) erwähnten Versuchen, wodurch Rumford das Wesen der Wärmestrahlung auszumitteln suchte, befindet sich auch eine schätzbare Reihe, die er über die Gesetze des Erkaltens der Körper mit grofser Umsicht anstellte. Zu diesem Ende füllte er zwei der beschriebenen Gefäfse, eins mit blanker Oberfläche, das andere mit dünnem Musselin überzogen, mit heifsem Wasser, senkte in jedes ein Thermometer, dessen Scale zum Ablesen herausstand, hing sie an dünnen Fäden in einem grofsen Zimmer auf, dessen Läden und Thüren verschlossen blieben, um Luftzug zu vermeiden und seine Temperatur während der ganzen Zeit der Beobachtung unverändert zu erhalten, und beobachtete dann den Gang des Thermometers mit einem Fernrohre von aufsen. Das blanke Gefäfs erkaltete ungleich langsamer, als das bekleidete; inzwischen zeigt Biot, dafs die Resultate beider Versuchsreihen sich durch die Formel

$$\text{Log.}\,T = \text{Log.}\,T_0 - \frac{a}{M}t$$

sehr annähernd ausdrücken lassen, worin T den Ueberschufs der Temperatur des Gefäfses über die der Umgebung in der gegebenen Zeit bezeichnet, a einen beständigen Coefficienten und M den Modulus der gemeinen Logarithmen = 2,302585 bezeichnen. Aus der Bestimmung von $T_0 = 109^0{,}5 - 43^0{,}5 = 66^0$ F. wurde mit Weglassung der ersten, durch äufsere Einflüsse zu sehr bedingten Resultate der Werth von $\frac{a}{M} = 0{,}00187785$ für die mit dem blanken Gefäfse und $\frac{a}{M} = 0{,}00264483$ für die mit

1 Dulong und Petit haben in ihrer sogleich zu erwähnenden Abhandlung eine der Versuchsreihen von Delaroche nach ihrer Formel berechnet, und es ergiebt sich daraus, dafs das von ihnen aufgefundene Gesetz auch auf diese Beobachtungen Anwendung leidet.

dem bekleideten erhaltenen Gröſsen gefunden. Biot[1] machte selbst eine Versuchsreihe auf dem Hospitium des St. Bernhard, wozu er eine massive vergoldete Kugel von Kupfer nahm, die er in einem Etui von Weiſsblech liegend so lange in siedendem Wasser eingetaucht hielt, bis das in ihr steckende Thermometer stationär wurde, dann an drei Fäden in einem geräumigen Zimmer aufhing, dessen Temperatur sich nicht merklich änderte, und die Unterschiede der Temperaturen der Kugel und des Zimmers in gemessenen Zeiten aufzeichnete. Die dritte Beobachtung gab $T_0 = 53° - 12°,2 = 40°,8$ C. und diese mit der letzten $T_0 = 32° - 12°,2 = 19°,8$ für das Zeitintervall $t = 66',83$ verbunden gab $\frac{a}{M} = 0,00469841$. Die berechneten Werthe stimmten mit den beobachteten bis auf die unvermeidliche Fehlergrenze genau überein. Aus frühern, schon in Paris angestellten Versuchen fand Biot $\frac{a}{M} = 0,00050936$; allein er hält diese Bestimmung für weniger genau, und bemerkt auſserdem, daſs die Werthe von a nicht stets gleich seyn können, weil die Zimmer, wie groſs sie auch seyn mögen, in Folge der Beschaffenheit ihrer Wände verschiedenen Einfluſs äuſsern, wozu noch der Umstand kommen dürfte, daſs die Kugel durch mehrmaligen Gebrauch einige Veränderung ihrer Politur erlitten hatte. Rumford brachte seine Gefäſse nach dem Abkühlen in ein heiſses Zimmer und beobachtete die Zeit der Temperaturerhöhung, und Biot zeigt, daſs auch hierauf das logarithmische Gesetz Anwendung leidet, jedoch muſs der Coefficient a anders bestimmt werden. Nicht minder zeigt sich dieses Gesetz anwendbar auf einige Versuchsreihen, welche Biot in Gemeinschaft mit Decandolle anstellte, indem Beide verschlossene, mit Flüssigkeiten gefüllte, Gefäſse in groſsen Behältern mit Wasser abkühlen lieſsen und die Verminderungen der Temperatur durch eingesenkte empfindliche Thermometer maſsen. Das Verschlieſsen der die Flüssigkeiten enthaltenden Gefäſse ist deswegen nothwendig, weil sonst die Verdampfung eine nicht wohl zu berechnende Bedingung herbeiführt, und zugleich muſs das zur Abkühlung dienende Gefäſs von hinlänglicher Gröſse seyn, damit das Wasser in demselben seine Temperatur nicht

1 Traité. T. III. p. 621.

ändert, indem es sonst durch anderes ersetzt werden müſste, um es bei constanter Wärme zu erhalten. Bei zwei Versuchsreihen, in denen Schwefelsäure zuerst erwärmt und dann abgekühlt wurde, war für die erste der Werth von $\frac{a}{M} = 0{,}0010239366$ und für die zweite $\frac{a}{M} = 0{,}0004841826$, welches zeigt, daſs die Erwärmung schneller, als das Erkalten fortschritt; da aber bei beiden die nach der angegebenen Formel berechneten Werthe mit den beobachteten bis auf geringe Unterschiede übereinstimmten, so liegt hierin ein Beweis, daſs das durch NEWTON aufgestellte logarithmische Gesetz auf diese Phänomene innerhalb der Grenzen der in den Versuchen statt gefundenen Temperaturen anwendbar sey.

242) Die ausgedehnteste Reihe mit gröſster Umsicht angestellter Versuche haben DULONG und PETIT[1] in ihrer bekannten Preisschrift über dieses Problem geliefert. Sie unterscheiden zuvörderst die Gesetze der Abkühlung im leeren Raume von der in flüssigen Medien[2], und bemerken zugleich richtig, es müsse eigentlich ein so kleiner Körper untersucht werden, daſs alle seine Theilchen als gleich warm zu betrachten wären, was aber eine unmögliche Aufgabe seyn würde. Um daher die Schwierigkeit möglichst zu umgehen und die Verbreitung der Wärme von seinem Centrum bis zur Oberfläche vorläufig auszumitteln, wählten sie Flüssigkeiten als diejenigen Substanzen, bei denen sie die Gesetze der Abkühlung aufzusuchen beabsichtigten, und zwar zuerst das in der Thermometerkugel eingeschlossene Quecksilber. Dabei wurde aber vorläufig erfordert, den Einfluſs der Gröſse des erkaltenden Körpers auszumitteln und zu erforschen, ob die Gesetze des Erkaltens mehr

1 Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 225. Thomson's Annals of Philos. T. XIII. p. 113. Journ. de Phys. T. LXXXVI. Schweigger's Journ. XXV. 304.

2 Da es zu weit führen würde, alle die älteren zahlreichen Versuche mitzutheilen, so begnüge ich mich, die von PICTET angestellten nur beiläufig zu erwähnen. Er hing ein Thermometer in einen gläsernen Ballon auf, erhitzte dasselbe durch Wärme von Kerzen, die durch einen Metallspiegel reflectirt wurde, und maſs die Zeit des Erkaltens im leeren Raume und in verschiedenen elastischen Flüssigkeiten. S. Versuch über das Feuer Cap. IV., V. u. VI. S. 81 ff.

von der Natur der Flüssigkeiten oder von der Gestalt und Beschaffenheit der Hülle abhängen, worin sie eingeschlossen sind. Zur Berechnung dienten folgende Elemente. Wäre der Unterschied der Temperaturen des erkaltenden Körpers und des umgebenden Mediums in den Zeiten 0', 1', 2', 3', .... t' = A, B, C ...... T, so würde unter Voraussetzung der Richtigkeit einer geometrischen Progression $B = Am$, $C = Am^2$ seyn, worin m einen für verschiedene Flüssigkeiten besonders zu bestimmenden Coefficienten bezeichnet. Sie fanden jedoch bald, daſs dieses Newton'sche Gesetz für höhere Temperaturen nicht genügt, und sie wählten daher den Ausdruck $Am^{\alpha t + \beta t^2}$, worin die Gröſsen m, $\alpha$ und $\beta$ zu bestimmen sind, um die Fehler der unmittelbaren Beobachtungen zu corrigiren. Zuerst verglichen sie 3 Thermometer A, B, C, deren Kugeln 2, 4 und 7 Millim. Durchmesser hatten, berechneten nach der angegebenen Formel die beobachteten Abkühlungen und erhielten hiernach folgende Gröſsen:

| Temperaturunterschied | Abkühlung des Therm. A. | Abkühlung des Therm. B. | Abkühlung des Therm. C. |
|---|---|---|---|
| 100° | 18°,92 | 8°,97 | 5°,00 |
| 80° | 14,00 | 6,60 | 3,67 |
| 60° | 9,58 | 4,56 | 2,52 |
| 40° | 5,93 | 2,80 | 1,56 |
| 20° | 2,75 | 1,30 | 0,73 |

Sucht man die Verhältnisse der zweiten zur dritten Columne (A:B), so erhält man:

2,11 .... 2,12 .... 2,10 .... 2,12 .... 2,11;

der zweiten zur vierten Columne:

3,78 .... 3,81 .... 3,80 .... 3,80 .... 3,77.

Es ergiebt sich aus der Gleichheit dieser Verhältnisse, daſs die ungleiche Gröſse der Thermometer innerhalb derjenigen Grenzen, bis zu welcher die Versuche sich erstreckten, auf den Gang der Abkühlung keinen Einfluſs ausübt. Zunächst suchten sie auszumitteln, ob die Gesetze der Abkühlung bei verschiedenen Flüssigkeiten ungleich sind, und da die damalige Unbekanntschaft mit dem Gange der Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten durch Wärme nicht erlaubte, mit den zu unter-

suchenden Flüssigkeiten gefüllte Thermometer anzuwenden, so wählten sie ein anderes Verfahren, nämlich den Gang des Erkaltens verschiedener Flüssigkeiten in der nämlichen Hülle zu beobachten. Ein eingesenktes Thermometer zeigte die jederzeitige Temperatur, und es ergab sich bald, daſs diese an allen Stellen gleich war, was ihnen eine Folge der Wärmeleitung im Innern zu seyn schien[1]. In drei Versuchsreihen, in denen Quecksilber mit Wasser, absolutem Alkohol und concentrirter Schwefelsäure verglichen wurden, zeigte sich, daſs bei allen Flüssigkeiten das nämliche Gesetz der Erkaltung statt findet. Ferner suchten sie den Einfluſs der Hüllen auf das Gesetz des Erkaltens auszumitteln und wählten daher Kugeln, eine von Glas, die andere von Zinnblech, mit Wasser gefüllt, welche folgende Resultate gaben:

| Unterschied der Temperatur | Abkühlung der Glaskugel | Abkühlung der Zinnkugel | Verhältniſs |
|---|---|---|---|
| 60° | 1°,39 | 0°,90 | 1,54 |
| 50 | 1,13 | 0,73 | 1,55 |
| 40 | 0,85 | 0,54 | 1,57 |
| 30 | 0,62 | 0,38 | 1,63 |
| 20 | 0,37 | 0,21 | 1,76 |

Die Zahlen der vierten Columne wachsen stets, und es ergiebt sich hieraus, daſs die Abkühlung in Glas langsamer fortschreitet. Leslie hatte dieses bereits gefunden und daher als Regel aufgestellt, daſs diejenigen Hüllen am schnellsten abkühlen, welche am wenigsten strahlen, Dulong und Petit aber fanden, daſs die Temperaturen hierbei einen Unterschied herbeiführen, indem der Gang der Erkaltung, welcher für geringere Temperaturen der schnellste ist, in höhern der langsamste wird. In der gegebenen Uebersicht nehmen die in der vierten Columne enthaltenen Verhältnisse ab, wie die Temperaturen höher

1 Dieses Resultat ist auffallend. Zwar beschränken die Beobachter diesen Satz bloſs auf die geringen Massen, womit sie experimentirten, übrigens aber ist bekannt, daſs bei Flüssigkeiten im Zustande der Ruhe, besonders bei Wasser, die wärmeren Theile stets emporsteigen, die kälteren herabsinken, worauf namentlich die Versuche zur Auffindung des Maximums der Dichtigkeit beruhn. §. 479.

werden, für noch höhere Temperaturen würden sie aber wieder wachsen, und da alle Gröfsen, welche im Fortschreiten ihr Zeichen ändern, in einem gewissen nicht grofsen Umfange sich nahe gleich bleiben, so finden sie hierin den Grund des Irrthums, wozu LESLIE verleitet wurde, und verkennen dabei zugleich nicht, dafs dieses ein sehr bedeutender Punct ist, welcher bei der Feststellung der Erkaltungsgesetze Berücksichtigung verdient. Als sie darauf vergleichende Versuche mit zinnernen Gefäfsen von gleichem Inhalte, aber verschiedener Form anstellten, ergab sich ein bei allen gleiches Verhältnifs des Erkaltens. Durch diese vorläufigen Versuche war also ausgemacht, dafs das Gesetz des Erkaltens der Flüssigkeiten, obgleich mit der einschliefsenden Hülle wechselnd, dennoch von der Natur der Flüssigkeit und der Form der Gefäfse unabhängig sey.

243) Um den Gang des Erkaltens zu messen, bedienten sich DULONG und PETIT zweier Thermometer, deren eins eine Kugel von etwa 2, das andere aber von etwa 6 Centimeter Durchmesser hatte, beide sehr genau und von der Kugel bis zum Anfange der Scale mit einem sehr engen Zwischenröhrchen versehn; das kleinere diente für höhere, das gröfsere für niedrigere Temperaturen, die Vergleichung beider gab aber das Gesetz des Erkaltens. Der Umfang der Versuche erforderte eine eigens hierfür hergestellte Vorrichtung. Die Hülle, in welcher die Abkühlung statt fand, war ein Ballon M′M′M″M″ Fig.
von Kupferblech, ungefähr 3 Decimeter im Durchmesser hal- 49.
tend, dessen oberer Rand eben geschliffen war. Derselbe wurde bis an den Hals in ein cylindrisches, mit Wasser gefülltes hölzernes Gefäfs getaucht und in seiner Stellung durch die starken Holzstäbe RR′, RR′ festgehalten. Im Innern war der Ballon mit Lampenrufs geschwärzt, um Rückstrahlung zu hindern und zu bewirken, dafs alle erhaltene Wärme an das umgebende Wasser überging. Sollte letzteres erwärmt werden, so geschah dieses mittelst Wasserdampf, welchen das Rohr S′V zuführte. Die Oeffnung des Ballons wurde durch eine dicke, genau aufgeschliffene Glasplatte AB mittelst etwas Pomade luftdicht verschlossen, durch deren Mitte das eingekittete oder vermittelst eines Korkes eingesteckte Thermometer mit seiner Kugel bis genau in die Mitte des Ballons herabging. Ueber die Scale des Thermometers wurde ein mit seinem untern dicken Rande auf die Glasplatte AB aufgeschliffener

gläserner Cylinder gestürzt, dessen oberes Ende mit einer Fassung und einem Hahn versehn, zugleich aber mit dem biegsamen Bleirohre ET verbunden war. Das Ende des letzteren liefs sich in den Teller einer Luftpumpe HK schrauben, und eine Barometerröhre diente zugleich, den Luftdruck in der Kugel zu bestimmen. Ein Hahn T′ war bestimmt, die Verbindung mit dem Glasrohre m′m, worin sich Chlorcalcium befand, herzustellen, die Campane V aber, in eine pneumatische Wanne gesenkt, diente dazu, verschiedene Gasarten in den vorher exantlirten Ballon zu bringen. Das Thermometer wurde bis nahe zum Siedepuncte des Quecksilbers erhitzt und sofort in den Ballon gesenkt. Sollten dann die Beobachtungen im Guericke'schen Vacuum oder in atmosphärischer Luft gemacht werden, so gingen die Vorbereitungen so schnell von statten, dafs das Thermometer nur bis 300° herabging, das Zulassen von Gasarten erforderte aber mehr Zeit und die Beobachtungen konnten daher erst bei 250° C. beginnen; die Zeiten wurden vermittelst einer Secundenuhr gemessen, mufsten dann aber corrigirt werden, und zwar zuerst wegen der Abkühlung der Scale des Thermometers, die sehr bald die Temperatur der äufsern Luft annahm, und dann wegen der ungleichmäfsigen Ausdehnung des Quecksilbers, wonach eine Reduction auf das Luftthermometer erforderlich war. Waren demnächst die Zeiten des Erkaltens und die ihnen zugehörigen Temperaturen gefunden, so theilten die Beobachter jede Reihe in zwei Theile, und berechneten jede nach der Formel $m^{\alpha t + \beta t^2}$, worin t die Zeit t bezeichnen, wobei jedoch eine Correction erforderlich war, die ihrer Geringfügigkeit ungeachtet doch nicht vernachlässigt werden durfte, nämlich die durch das Herabsinken des kälteren Quecksilbers aus der Scale in die Kugel entspringende. Endlich mufste das ungleiche Strahlungsvermögen der Oberfläche des erkaltenden Körpers berücksichtigt werden, und zugleich durfte ihre Beschaffenheit sich während der Dauer des Versuches nicht ändern. Hierfür schien ihnen Glas als am meisten und Silber als am wenigsten ausstrahlend am geeignetsten zu seyn, und sie liefsen daher die Kugel ihrer Thermometer entweder nackt oder überzogen sie mit einer dünnen Lage Silber, in der Erwartung, dafs die hiermit gefundenen Gesetze auf alle andere Körper anwendbar seyn würden.

Bei der Untersuchung der *Abkühlung im Vacuum* bedurften die gefundenen Werthe einer Correction, welche zwar geringfügig ist, aber doch nicht zu vernachlässigen schien, nämlich die aus dem zurückbleibenden Antheile von Luft entspringende. Es war leicht, diese Gröſse aufzufinden, da die Verdünnung in der Regel bis 2 Millim. hergestellt wurde; denn aus der Vergleichung der in verschieden dichter Luft erhaltenen Werthe ergab sich der Einfluſs der Luft überhaupt und konnte dann für den jederzeit bei den Versuchen noch vorhandenen geringen Antheil abgezogen werden, vorzüglich da dieser Einfluſs ein einfaches Gesetz befolgte.

244) Wenn das Erkalten eines Körpers im Vacuum durch Strahlung bloſs vom Ueberschusse seiner Temperatur über die das Vacuum einschlieſsende Hülle abhinge, so würde folgende Betrachtung zur Auffindung eines allgemeinen Gesetzes führen. Hieſse $\Theta$ die Temperatur der einschlieſsenden Hülle, $t + \Theta$ die des erkaltenden Körpers, die Geschwindigkeit der Abkühlung $V$ (wobei $V = 0$ für $t = 0$ werden müſste), so wäre

$$V = F(t + \Theta) - F(\Theta),$$

worin $F$ die unbekannte Function der absoluten Temperatur bezeichnet, welche das Gesetz der Strahlung darstellt. Wären dann die Functionen $F(t + \Theta)$ und $F(\Theta)$ den veränderlichen Gröſsen direct proportional, so würden sie die Form $m(t + \Theta)$ und $m(\Theta)$ erhalten und die Geschwindigkeit der Abkühlung wäre $mt$. Dieses gäbe das *Richmann'sche Gesetz*, wonach die Geschwindigkeit der Abkühlung dem Ueberschusse der Temperatur des erkaltenden Körpers über die den Raum einschlieſsende Hülle direct proportional ist, und einige Versuche würden hinreichen, den beständigen Coefficienten $m$ auszumitteln; allein die Versuche ergaben, daſs jenes Gesetz nicht für alle Temperaturen gültig ist, wie man bis dahin voraussetzte. Hiernach hängt also jene Function sowohl von dem Ueberschusse der Temperatur des erkaltenden Körpers über die den Raum umgebende Hülle ab, als auch von der absoluten Temperatur der letzteren, also von $\Theta$. Um dieses auszumitteln, erhielten sie das die kupferne Kugel umgebende Wasser bei Temperaturen, die um 20° C. verschieden waren und während der Dauer der Beobachtungen unverändert blieben. Die hierbei beobachteten Geschwindigkeiten des Erkaltens $= V$ sind in der folgenden Uebersicht enthalten.

| t | V bei 0° | V' bei 20° | V'' bei 40° | V''' bei 60° | $V^{IV}$ bei 80° |
|---|---|---|---|---|---|
| 240° | 10°,69 | 12°,40 | 14°,35 | — | — |
| 220 | 8,81 | 10,41 | 11,98 | — | — |
| 200 | 7,40 | 8,58 | 10,01 | 11,64 | 13°,45 |
| 180 | 6,10 | 7,04 | 8,20 | 9,55 | 11,05 |
| 160 | 4,89 | 5,67 | 6,61 | 7,68 | 8,95 |
| 140 | 3,88 | 4,57 | 5,32 | 6,14 | 7,19 |
| 120 | 3,02 | 3,56 | 4,15 | 4,84 | 5,64 |
| 100 | 2,30 | 2,74 | 3,16 | 3,68 | 4,29 |
| 80 | 1,74 | 1,99 | 2,30 | 2,73 | 3,18 |
| 60 | — | 1,40 | 1,62 | 1,88 | 2,17 |

Sucht man für die einzelnen Glieder dieser Columnen die Werthe von $\frac{V'}{V}$, $\frac{V''}{V'}$ u. s. w., so liegen diese Quotienten zwischen 1,15 und 1,18, wodurch also folgendes Gesetz begründet wird: *die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Thermometers im Vacuum für einen beständigen Unterschied der Temperatur wächst im geometrischen Verhältnisse, wenn die Temperatur der Umgebung in einem arithmetischen Verhältnisse zunimmt, und jene geometrische Progression ist die nämliche, wie auch der Unterschied beider Temperaturen seyn mag.* Hiernach läſst sich also die oben aufgestellte Formel für die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum, nämlich

$$F(t+\Theta)-F(\Theta),$$

auf den einfachen Ausdruck

$$\varphi(t)\times a^{\Theta}$$

zurückbringen, worin a eine beständige Gröſse und $\varphi(t)$ eine Function der veränderlichen Gröſse t ist, welche näher bestimmt werden muſs. Aus der Gleichheit beider Functionen folgt

$$\frac{F(t+\Theta)-F(\Theta)}{a^{\Theta}}=\varphi(t).$$

Dieses in eine Reihe entwickelt giebt:

$$\varphi(t)=t\frac{F'(\Theta)}{a^{\Theta}}+\frac{t^2}{2}\cdot\frac{F''(\Theta)}{a^{\Theta}}+\frac{t^3}{2.3}\cdot\frac{F'''(\Theta)}{a^{\Theta}}+\ldots.$$

und da diese Gleichung für alle Werthe von t gültig seyn muſs, so erhält man

$$F'(\Theta)=n.a^{\Theta},$$

worin n eine unbestimmte Zahl bezeichnet. Hieraus ergiebt sich

$$F(\Theta) = m.a^{\Theta} + \text{einer Constante.}$$

Wird dann der Kürze wegen $\frac{n}{\text{Log. } a} = m$ gesetzt, so ist

$$F(t + \Theta) = m.a^{t+\Theta} + \text{einer constanten Gröfse.}$$

Hieraus folgt endlich für den Werth der Geschwindigkeit

$$V = m.a^{\Theta}(a^{t} - 1)$$

als der Ausdruck der Geschwindigkeit der Abkühlung im Vacuum. Bleibt $\Theta$ unverändert, so ist dieses auf gleiche Weise der Fall bei $ma^{\Theta}$. Wenn also ein Körper im Vacuum erkaltet und die umgebende Hülle ihre Temperatur nicht ändert, so wächst die Geschwindigkeit des Erkaltens für die in arithmetischer Progression steigenden Temperaturen in einer geometrischen Reihe. Das Verhältnifs von a für diese Progression ist aus den Beobachtungen leicht aufzufinden, denn wenn nach der mitgetheilten Tabelle der Werth von $\Theta$ um 20° C. wächst, t aber sich gleich bleibt, so geben die gesammten Quotienten $\frac{V'}{V}, \frac{V''}{V'} \ldots$, die zwischen 1,15 und 1,18 fallen, im Mittel 1,165, und man erhält also

$$a = \sqrt[20]{1,165} = 1,0077.$$

Dulong und Petit haben nach dieser Formel die beobachteten Gröfsen berechnet, wobei $m.a^{\Theta}$ für jede Reihe einen verschiedenen Werth erhalten mufs. Für die erste Reihe, worin $\Theta = 0$ war, ist $a = 1,0077$ und $m.a^{\Theta} = 2,037$, also

$$V = 2,037\,(a^{t} - 1);$$

für die zweite Reihe, worin $\Theta = 20$ war, mufs der eben genannte Coefficient mit $a^{20} = 1,165$ multiplicirt werden, und man hat

$$V = 2,374\,(a^{t} - 1).$$

Wird dieser Coefficient wieder mit 1,165 multiplicirt, so erhält man für die dritte Reihe

$$V = 2,766\,(a^{t} - 1)$$

und so fort für die folgenden

$$V = 3,222\,(a^t - 1)$$

und

$$V = 3,754\,(a^t - 1).$$

Die auf diese Weise durch Rechnung gefundenen Werthe stimmen mit den beobachteten so genau überein, als die Fehlergrenze bei solchen Versuchen gestattet, wie folgende Zusammenstellung der ersten Reihe zeigt:

10,69; 8,81; 7,40; 6,10; 4,89; 3,88; 3,02; 2,30; 1,74.
10,68; 8,89; 7,34; 6,03; 4,87; 3,89; 3,05; 2,33; 1,72.

245) Hiernächst wurden einige Beobachtungsreihen angestellt, wobei die Thermometerkugel übersilbert war. Es zeigte sich bald, daſs hierbei das nämliche Gesetz statt fand und daher die erhaltenen Gröſsen nach der nämlichen Formel berechnet werden konnten, wobei a seinen Werth behielt, m aber = 0,357 gefunden wurde, also $ma^{\Theta} = 0,416$, weil $\Theta = 20°$ war. Die Berechnung nach der Formel

$$V = 0,416\,(a^t - 1)$$

angestellt gab die folgenden, mit den beobachteten zusammengestellten Werthe für die Temperaturunterschiede der Thermometer und der umgebenden Hülle = t.

| Werthe von t | V beobachtet | V berechnet |
|---|---|---|
| 280° | 3°,05 | 3°11 |
| 260 | 2,59 | 2,61 |
| 240 | 2,18 | 2,18 |
| 220 | 1,83 | 1,81 |
| 200 | 1,53 | 1,50 |
| 180 | 1,26 | 1,23 |
| 160 | 1,02 | 1,00 |
| 140 | 0,81 | 0,80 |
| 120 | 0,62 | 0,62 |
| 100 | 0,47 | 0,48 |
| 80 | 0,34 | 0,35 |
| 60 | 0,24 | 0,24 |
| 40 | 0,15 | 0,15 |
| 20 | 0,07 | 0,07 |

Für eine folgende Reihe, wobei $\Theta = 80$ war, muſste der eben gefundene Coefficient mit $a^{60}$ multiplicirt werden; es wurde daher

$$V = 0{,}658\,(a^t - 1),$$

und auch hierbei zeigte sich eine gleiche Uebereinstimmung der beobachteten und der durch Rechnung gefundenen Werthe.

Die Resultate der Beobachtungen lassen sich also durch die einfache Formel

$$V = M\,(a^t - 1)$$

ausdrücken, wenn man $M = m\,a^{\Theta}$ setzt. Indem aber a von der Beschaffenheit der Oberfläche unabhängig ist, so folgt hieraus, daſs das Gesetz des Erkaltens im Vacuum für alle Körper dasselbe ist und also das Strahlungsvermögen der verschiedensten Substanzen in allen Temperaturen das nämliche Verhältniſs beibehält, während die Geschwindigkeit des Erkaltens durch das ungleiche Strahlungsvermögen der Oberfläche bedingt wird. Für Glas und Silber fanden Dulong und Petit dieses Verhältniſs = 5,7, etwas geringer als Leslie, vermuthlich deswegen, weil die von ihnen angewandte silberne Oberfläche gefirniſst war.

Aus dem für die Geschwindigkeit des Erkaltens gefundenen Ausdrucke läſst sich leicht das Verhältniſs zwischen den Temperaturen und den Zeiten herleiten. Heiſst die Zeit x, so hat man

$$V = -\frac{\partial t}{\partial x} = M\,(a^t - 1),\ \text{also}\ \partial x = \frac{-\partial t}{M\,(a^t - 1)}$$

und

$$x = \frac{1}{M.\,\mathrm{Log}.\,a}\left(\mathrm{Log}.\ \frac{a^t - 1}{a^t}\right) + C,$$

worin M und die Constante bestimmt werden können, wenn man die beobachteten Werthe von t hat, welche zwei bekannten Werthen der Zeit x zugehören. Wird hierin t so klein genommen, daſs bei der Kleinheit des Log. a man sich mit dem ersten Gliede der für $a^t$ zu entwickelnden Reihe begnügen kann, so erhält man das Newton'sche Gesetz.

246) Die nächste Aufgabe war, den Einfluſs auszumitteln, welchen die verschiedenen *umgebenden Medien* auf das Erkalten äuſsern. Um den Einfluſs der Gase unter verschiedenem Drucke und von ungleichen Temperaturen zu finden, war bloſs

erforderlich, die Gröfse der durch die Strahlung allein oder die Strahlung im Vacuum abgegebenen Wärme von den bei der Anwesenheit einer Gasart beobachteten Werthen abzuziehn, was jedoch, da sich die Untersuchung auf mehrere Gasarten erstreckte, eine grofse Menge Versuche erforderte, wobei die beobachteten Gröfsen auf die oben angegebene Weise berechnet und aus mehreren Reihen die mittleren Werthe genommen wurden.

247) Zuerst mufste die Frage beantwortet werden, ob die Beschaffenheit der Oberfläche, welche auf das Strahlungsvermögen einen so bedeutenden Einflufs hat, diesen auch beim Erkalten in verschiedenen Gasarten zeigt. Hierfür war erforderlich, die Erkaltung des nackten und bekleideten Thermometers in einer Gasart von bestimmter Dichtigkeit und Temperatur zu beobachten. Von den vielen Versuchsreihen werden nur die zwei wichtigsten, die eine mit dem grofsen Thermometer, welches zuerst nackt, dann übersilbert angewandt wurde, in Luft unter 0,72 Met. Druck und bei 20° C. Wärme der Umgebung, die zweite mit dem kleinen Thermometer in Wasserstoffgas unter 0,74 Met. Druck und bei 20° C. Wärme der Umgebung angestellt, hier mitgetheilt, deren genaue Uebereinstimmung bei der so grofsen Verschiedenheit der Bedingungen zu dem Schlusse berechtigt, *dafs der Verlust der Wärme, welcher durch die Berührung irgend einer Gasart bewirkt wird, unter übrigens gleichen Bedingungen von der Beschaffenheit der Oberfläche des erkaltenden Körpers ganz unabhängig ist.* Auf dieses wichtige Gesetz war Leslie zwar indirect gleichfalls geführt worden, allein ohne eigentlichen Beweis, welcher obendrein mit seiner Hypothese nicht wohl vereinbar ist, wonach die Gase den Körpern Wärme theils durch ihre Leitung, theils durch das Aufsteigen derselben und den hieraus folgenden Zutritt stets neuer Theilchen zum erkaltenden Körper entziehn.

In Gemäfsheit des angegebenen Gesetzes war nichts weiter erforderlich, als die folgenden Versuche mit dem unbekleideten Thermometer anzustellen, welches auch geschah; in den mitgetheilten Uebersichten ist aber blofs derjenige Antheil des Erkaltens, welcher durch den Einflufs der Gasarten bewirkt wird, nach Abzug des durch die Strahlung erfolgenden, mitgetheilt. Die erste Versuchsreihe bezog sich auf die Beant-

wortung der Frage, ob die Temperatur der Hülle einen Einfluſs auf die Geschwindigkeit des Erkaltens habe. Als daher die Erkaltung in Luft unter 0,72 Met. Druck von 20°, 40°, 60° und 80° C. untersucht wurde, zeigte sich, daſs die Geschwindigkeit des Erkaltens in allen vier Reihen sich gleich blieb, und ebendieses ergab sich, als vier gleiche Reihen von Beobachtungen mit Wasserstoffgas unter gleichem Drucke und bei den genannten ungleichen Temperaturen angestellt wurden. Nicht minder ergab sich dieses aus gleichen Versuchsreihen mit kohlensaurem Gas unter 0,72 Met. und mit Luft unter 0,36 Met. Druck, woraus das Gesetz folgt, *daſs die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Körpers, welche bloſs durch die Berührung des umgebenden Gases bewirkt wird, für gleiche Temperaturunterschiede abhängt von der Dichtigkeit und Temperatur des Gases; aber diese Abhängigkeit ist so, daſs die Geschwindigkeit des Erkaltens dieselbe bleibt, wenn die Dichtigkeit und Temperatur des Gases sich so ändern, daſs die Elasticität unverändert bleibt.* Hiernach hat man, wenn es sich darum handelt, die Abkühlung eines Körpers durch bloſsen Einfluſs der berührenden Gasarten zu bestimmen, nur die Elasticität der letzteren zu beachten, worauf sich dann die folgenden Versuche bezogen. Zuerst wurden solche mit atmosphärischer Luft angestellt, deren Elasticität 0,72, 0,36, 0,18, 0,09, 0,045 Met. betrug, also in der geometrischen Progression $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ abnahm. Die für die Geschwindigkeiten des Erkaltens durch bloſse Einwirkung der Luft $= V, V', V'' \ldots$. gefundenen Werthe enthält die folgende Tabelle.

| Temperaturunterschiede | V = 0,72 M. | V' = 0,36 M. | V'' = 0,18 M. | V''' = 0,09 M. | $V^{iv}$ = 0,045 M. |
|---|---|---|---|---|---|
| 200° | 5°,48 | 4°,01 | 2°,95 | 2°,20 | 1°,59 |
| 180 | 4,75 | 3,52 | 2,61 | 1,90 | 1,37 |
| 160 | 4,17 | 3,03 | 2,21 | 1,62 | 1,20 |
| 140 | 3,51 | 2,62 | 1,91 | 1,40 | 1,02 |
| 120 | 2,90 | 2,12 | 1,57 | 1,15 | 0,84 |
| 100 | 2,27 | 1,69 | 1,23 | 0,90 | 0,65 |
| 80 | 1,77 | 1,29 | 0,96 | 0,70 | 0,52 |
| 60 | 1,23 | 0,90 | 0,65 | 0,48 | 0,35 |
| 40 | 0,75 | | | | |
| 20 | 0,32 | | | | |

Die Quotienten, die durch die Division von $\frac{V}{V'}$, $\frac{V'}{V''}$ . . . . . erhalten werden, fallen zwischen 1,38 und 1,34, weshalb ihre Unterschiede innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenze liegen, was zu folgenden Schlüssen berechtigt: 1) *das Gesetz der Geschwindigkeit des Erkaltens eines Körpers durch die ihn berührende Luft bleibt für gleiche Temperaturunterschiede unverändert, wie verschieden auch die Dichtigkeit der Luft seyn mag;* 2) *wenn die Elasticität der Luft in einer geometrischen Reihe abnimmt, so nimmt ihr Abkühlungsvermögen gleichfalls in einer geometrischen Reihe ab, und zwar ist der Exponent des Verhältnisses bei jener Reihe* = 2, *bei dieser* (im Mittel aus allen zwischen 1,38 und 1,34 liegenden Gröſsen) = 1,366. Eben dieses Gesetz wurde bei Wasserstoffgas, Kohlensäureund ölerzeugendem Gas bestätigt gefunden, es waren aber die Exponenten der Reihe für Luft = 1,366, für Wasserstoffgas = 1,301, für Kohlensäure = 1,431 und für ölerzeugendes Gas = 1,415. Das Ganze läſst sich leicht auf einen allgemeinen Ausdruck zurückbringen. Heiſst P die abkühlende Kraft einer Gasart unter dem Drucke p, so erhält man für 2p die Gröſse P (1,366) und für 4p ebenso $P(1,366)^2$, also für $p.2^n$ auch $P(1,366)^n$. Nennt man daher $p.2^n = p'$ und $P(1,366)^n = P'$, so hat man

$$\frac{\text{Log.}\,P' - \text{Log.}\,P}{\text{Log.}\,(1,366)} = \frac{\text{Log.}\,p' - \text{Log.}\,p}{\text{Log.}\,2},$$

also

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{0,45};$$

der Exponent 0,45 ist aber nicht für alle Gasarten gleich, sondern wird für Wasserstoffgas = 0,38, für Kohlensäure = 0,517 und für ölerzeugendes Gas = 0,501. Die abkühlende Kraft eines Gases ist daher in einem gewissen Verhältnisse seiner Elasticität proportional, allein der Exponent dieses Verhältnisses ist bei verschiedenen Gasarten verschieden. Bei der Luft, der Kohlensäure und dem ölerzeugenden Gas weicht er wenig von 0,5 ab, was dahin führt, die abkühlende Kraft dieser Gase der Quadratwurzel ihrer Elasticität proportional anzunehmen.

248) Die nächste Aufgabe war, die abkühlende Kraft der

verschiedenen Gase von gleicher Elasticität für gleiche Temperaturunterschiede zu untersuchen. Die bei 0,72 Met. Druck für die vier genannten Gasarten gefundenen Werthe der durch sie allein (ohne Einflufs der Strahlung) bewirkten Abkühlungen zeigt folgende Tabelle.

| Temperaturunterschiede | V für Luft | V′ für Wasserstoffgas | V″ für Kohlensäure | V‴ für ölerzeugendes Gas |
|---|---|---|---|---|
| 200° | 5°,48 | — | 5°,25 | 7°,41 |
| 180 | 4,75 | 16°,59 | 4,57 | 6,45 |
| 160 | 4,17 | 14,26 | 4,04 | 5,41 |
| 140 | 3,51 | 12,11 | 3,39 | 4,70 |
| 120 | 2,90 | 10,10 | 2,82 | 3,84 |
| 100 | 2,27 | 7,98 | 2,22 | 3,12 |
| 80 | 1,77 | 6,66 | 1,69 | 2,34 |

Die Quotienten von $\frac{V'}{V}$ schwanken zwischen 3,51 und 3,42, die von $\frac{V''}{V}$ zwischen 0,977 und 0,955 und die von $\frac{V'''}{V}$ zwischen 1,37 und 1,30, woraus sich ergiebt, dafs das Gesetz der durch die verschiedenen Gasarten für sich allein bewirkten Abkühlung von der Beschaffenheit und Dichtigkeit der Gasarten unabhängig ist. Da es sich aber darum handelte, dieses Gesetz zu bestimmen, so führten die verschiedenen Bemühungen zu dem Resultate, dafs die Abkühlung durch die Gase eine geometrische Reihe bildet, deren Exponent = 1,233 ist, wenn der Exponent der Reihe der Temperaturunterschiede = 2 ist. Wie genau hierbei Rechnungen und Beobachtungen übereinstimmen, zeigt folgende Zusammenstellung der erhaltenen Werthe für Luft unter 0,72 Met. Druck, worin t den Unterschied der Temperatur und V die Geschwindigkeit des Erkaltens bezeichnen.

| t | V beobachtet | V berechnet | t | V beobachtet | V berechnet |
|---|---|---|---|---|---|
| 200° | 5°,48 | 5°,45 | 100° | 2°,27 | 2°,31 |
| 180 | 4,75 | 4,78 | 80 | 1,77 | 1,76 |
| 160 | 4,17 | 4,14 | 60 | 1,23 | 1,24 |
| 140 | 3,51 | 3,51 | 40 | 0,77 | 0,75 |
| 120 | 2,90 | 2,91 | 20 | 0,33 | 0,32 |

Eine gleiche Uebereinstimmung zeigte sich bei den übrigen Gasarten.

249) Aus allen diesen Untersuchungen ergiebt sich daher, dafs die Elasticität der Gasart und der Temperaturunterschied des erkaltenden Körpers und der Umgebung die einzigen Elemente sind, welche ein allgemeiner Ausdruck für die Geschwindigkeit des Erkaltens durch den blofsen Einflufs der umgebenden Gasart enthalten mufs. Nennt man die erstere p und den letzteren t, so folgt:

$$V = m \cdot p^c \cdot t^b,$$

worin b für alle Gasarten und alle Körper = 1,233, c für alle Körper gleich, aber für die einzelnen Gase verschieden, m nach der Natur der Gase und den Dimensionen der Körper veränderlich ist. Die bereits gefundenen Werthe von c sind für Luft = 0,45, für Wasserstoffgas 0,38, für Kohlensäure 0,517, für ölerzeugendes Gas 0,501 und die von m bei dem von Dulong und Petit angewandten Thermometer für Luft = 0,00919, für Wasserstoffgas = 0,3318, für Kohlensäure = 0,00887, für ölerzeugendes Gas = 0,01227, wenn p in Metern und t in Centesimalgraden ausgedrückt werden.

250) Die Einfachheit dieses Ausdruckes erzeugte den Wunsch, die Gesetze der Abkühlung auch für höhere Temperaturen kennen zu lernen, und es schien hierfür das zuerst durch Leslie angewandte Verfahren am geeignetsten zu seyn. Wenn das Thermometer mit nackter Kugel in der Luft erkaltete, so war die ganze Geschwindigkeit die Summe der Wirkungen durch Strahlung und durch Berührung der Luft. Heifst die letztere v, die erstere v', so ist deren Summe = v + v'. Für das mit Silber bedeckte Thermometer war v gleichbleibend, v' aber wurde $\frac{v'}{5,707}$, weil die Strahlung des Glases zu

der des Silbers sich wie 5,707 zu 1 verhält. Bezeichnet man beide Geschwindigkeiten durch a und b, so ist

$$a = v + v', \quad b = v + \frac{v'}{5{,}707}, \text{ und } v = \frac{5{,}707 \times b - a}{5{,}707}.$$

Wird dieser Ausdruck auf die beobachteten Werthe angewandt, so giebt folgende Tabelle eine Uebersicht der Resultate.

| t | V für die nackte Kugel | V für die versilberte Kugel | v |
|---|---|---|---|
| 260° | 24°,42 | 10°,96 | 8°,10 |
| 240 | 21,12 | 9,82 | 7,41 |
| 220 | 17,92 | 8,59 | 6,61 |
| 200 | 15,30 | 7,57 | 5,92 |
| 180 | 13,04 | 6,57 | 5,19 |
| 160 | 10,70 | 5,59 | 4,50 |
| 140 | 8,75 | 4,61 | 3,73 |
| 120 | 6,82 | 3,80 | 3,11 |
| 100 | 5,57 | 3,06 | 2,58 |
| 80 | 4,15 | 2,32 | 1,93 |

Die Werthe von v oder der Erkaltung, welche bloſs durch die Berührung der Luft herbeigeführt wird, lassen sich durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$v = m t^{1{,}233},$$

worin m jedesmal besonders bestimmt werden muſs. Für die Beobachtungen mit der versilberten Kugel ist m = 0,00857 und die folgende Tabelle zeigt die genaue Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Werthe von v.

| t | v beobachtet | v berechnet | t | v beobachtet | v berechnet |
|---|---|---|---|---|---|
| 260° | 8°,10 | 8°,14 | 160° | 4°,50 | 4°,47 |
| 240 | 7,41 | 7,38 | 140 | 3,73 | 3,79 |
| 220 | 6,61 | 6,63 | 120 | 3,11 | 3,14 |
| 200 | 5,92 | 5,87 | 100 | 2,53 | 2,50 |
| 180 | 5,19 | 5,17 | 80 | 1,93 | 1,90 |

Kennt man hiernach die durch Berührung der Luft bewirkte Abkühlung, so ist es leicht, die im Vacuum durch Strahlung erzeugte zu finden, wenn man von den beobachteten Werthen

die für v durch Rechnung erhaltenen abzieht. Als erläuterndes Beispiel mögen die mit der nackten Kugel erhaltenen Werthe dienen, wenn die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum durch die Formel

$$V = m(a^t - 1)$$

ausgedrückt wird, worin t den Unterschied der Temperaturen des Thermometers und der umgebenden Hülle, m einen beständigen, jederzeit zu bestimmenden Coefficienten bezeichnet, welcher in diesem Falle = 2,61 ist, a aber den Exponenten = 1,0077 bezeichnet, welcher bei allen Körpern derselbe bleibt. Wie genaue Uebereinstimmung auf diese Weise erhalten wird, zeigt die nachfolgende Tabelle, worin V die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum, abgeleitet aus Beobachtungen in umgebender Luft, V′ aber diese Geschwindigkeit durch Rechnung gefunden bezeichnet.

| t | V | V′ | t | V | V′ |
|---|---|---|---|---|---|
| 260° | 16°,32 | 16°,40 | 160° | 6°,20 | 6°,25 |
| 240 | 13,71 | 13,71 | 140 | 5,02 | 4,99 |
| 220 | 11,31 | 11,40 | 120 | 3,93 | 3,92 |
| 200 | 9,38 | 9,42 | 100 | 3,04 | 2,99 |
| 180 | 7,85 | 7,71 | 80 | 2,22 | 2,20 |

Die durch Strahlung und zugleich durch Berührung mit einer elastischen Flüssigkeit erzeugte Erkaltung eines Körpers läſst sich sonach durch folgenden Ausdruck darstellen:

$$v = m(a^t - 1) + n t^b,$$

worin für alle Körper und alle Flüssigkeiten a = 0,0077 und b = 1,233 sind; der Coefficient m hängt ab von der Gröſse und der Oberfläche des erkaltenden Körpers, so wie von der Beschaffenheit der umgebenden Gasart; der Exponent b, von der absoluten Temperatur und der Beschaffenheit des erkaltenden Körpers unabhängig, ist nach der Elasticität und der Beschaffenheit des umgebenden Gases, nach den bereits entwickelten Gesetzen, veränderlich. Wenn dieser Ausdruck durch die Beschaffenheit der Oberfläche des erkaltenden Körpers sich ändert, so behalten die Gröſsen a, b, n ihren Werth, m aber verändert sich dem Strahlungsvermögen der Oberfläche proportional. Wird es hierdurch = m′, so wird

$$v = m'(a^t - 1) + n t^b.$$

Es sey zuerst m' gröſser als m, also das Strahlungsvermögen gröſser, so wird das Verhältniſs

$$\frac{m(a^t - 1) + n t^b}{m'(a^t - 1) + n t^b} = \frac{m}{m'},$$

wenn t = 0 oder t = ∞ ist. Nimmt man t sehr klein an, so läſst sich die Gröſse $a^t - 1$ durch t.Log. a ausdrücken, und man erhält, wenn man durch t Log. a dividirt,

$$\frac{m + \frac{n}{\text{Log. a}} \cdot t^b - 1}{m' + \frac{n}{\text{Log. a}} \cdot t^b - 1},$$

welches Verhältniſs in dem Maſse abnimmt, als t wächst, wenn b gröſser ist als 1; allein nach der Abnahme wird es wieder wachsen, weil es der Einheit gleich den Werth wieder erhalten muſs, wie bei t = 0. Wenn man also die Gesetze des Erkaltens bei zwei Körpern von verschiedener Oberfläche mit einander vergleicht, so erfolgt das Erkalten in geringen Temperaturen schneller bei denjenigen Körpern, welche ein geringeres Strahlungsvermögen haben, aber weniger schnell bei diesen nämlichen Körpern in höheren Temperaturen. Dieses ergiebt sich leicht aus folgender Uebersicht, worin t die gewöhnliche Bedeutung hat, V die Geschwindigheit der Abkühlung des unbekleideten und V' des versilberten bezeichnen.

| t | V | V' | V : V' |
|---|---|---|---|
| 260° | 24°,42 | 10°,96 | 2°,23 |
| 240 | 21,12 | 9,82 | 2,15 |
| 220 | 17,92 | 8,59 | 2,09 |
| 200 | 15,30 | 7,57 | 2,02 |
| 180 | 13,04 | 6,57 | 1,98 |
| 160 | 10,70 | 5,59 | 1,91 |
| 140 | 8,75 | 4,61 | 1,89 |
| 120 | 6,82 | 3,80 | 1,80 |
| 100 | 5,56 | 3,06 | 1,81 |
| 80 | 4,15 | 2,32 | 1,78 |
| 60 | 2,86 | 1,60 | 1,79 |
| 40 | 1,74 | 0,96 | 1,81 |
| 20 | 0,77 | 0,42 | 1,85 |
| 10 | 0,37 | 0,19 | 1,90 |

Für die Temperaturunterschiede von 40° bis 120° sind die Verhältnisse fast gleich, was Dalton veranlafste, das Gesetz des Erkaltens in der Luft bei allen Körpern als gleich anzunehmen. Würde die Reihe bis zu höheren Temperaturen weiter fortgesetzt, die für 260° schon 2,23 erreicht, so würde sie sich bald der Gröfse 5,705 nähern, der das Verhältnifs $\frac{m}{m}$, in dem Falle gleich ist, wenn Glas mit Silber verglichen wird.

251) Noch bleibt zu untersuchen, wie sich das Gesetz des Erkaltens für den nämlichen Körper mit der Natur und Dichtigkeit der Gase ändert. Wenn man den Ausdruck

$$m(a^t - 1) + n t^b$$

nimmt und ihn auf ein anderes Gas oder auf dasselbe bei verschiedener Elasticität anwendet, so verwandelt er sich in

$$m(a^t - 1) + n' t^b,$$

worin blofs n einen andern Werth erhält. Die Vergleichung beider Ausdrücke zeigt, dafs das Verhältnifs der Einheit gleich kommt, wenn wir $t = 0$ oder $t = x$ machen. Die gesammte Geschwindigkeit des Erkaltens in verschiedenen Gasen nähert sich also der Gleichheit in sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen, kann aber in den zwischenliegenden sehr verschieden seyn.

252) Dulong und Petit geben noch zuletzt eine Uebersicht aller durch ihre Versuche gefundenen Resultate, mit dem Bemerken, dafs unter Geschwindigkeit des Abkühlens stets die Zahl der Thermometergrade zu verstehn sey, um welche die Temperatur des Körpers während eines unendlich kleinen und gleichbleibenden Zeitintervalls herabsinken würde. Hiernach stellen sie folgende Gesetze auf: 1) Wäre ein im Vacuum befindlicher Körper von einer aller Wärme beraubten und gar nicht strahlenden Hülle umgeben, so würden die Geschwindigkeiten des Erkaltens in einer geometrischen Progression abnehmen, wenn die Temperaturen sich in einer arithmetischen verringerten. 2) Wenn die Temperatur des einschliefsenden Vacuums constant bliebe, so würde die Geschwindigkeit des Erkaltens für die in arithmetischer Progression abnehmenden

Temperaturen sich vermindern, wie die Glieder einer geometrischen Reihe weniger einer beständigen Gröfse. Der Exponent dieser Reihe ist für alle Körper = 1,0077. 3) Die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum für gleiche Temperaturunterschiede wächst in einer geometrischen Progression, wenn die Temperatur des Vacuums in einer arithmetischen Progression wächst; der Exponent dieses Verhältnisses ist gleichfalls = 1,0077 für alle Körper. 4) Die Geschwindigkeit der blofs durch Berührung der Luft erzeugten Erkaltung ist von der Oberfläche der Körper unabhängig. 5) Die Geschwindigkeit der blofs durch die Berührung der Luft erzeugten Abkühlung bildet eine geometrische Progression, wenn die Temperaturunterschiede gleichfalls eine geometrische Reihe bilden, und wenn der Exponent dieser letzteren = 2 ist, so ist der der ersteren = 2,35 unabhängig von der Natur und Elasticität des Gases. Dieses Gesetz kann auch so ausgedrückt werden, dafs die Quantität der durch eine Gasart fortgeführten Wärme in allen Fällen dem Unterschiede der Temperatur proportional ist, erhoben auf eine Potenz, deren Exponent = 1,233 ist. 6) Die abkühlende Kraft einer Gasart nimmt ab in einer geometrischen Reihe, wenn die Elasticität derselben in einer geometrischen Reihe abnimmt. Ist der Exponent dieser letzteren = 2, so ist der der ersteren = 1,366 für Luft; = 1,301 für Wasserstoffgas; = 1,431 für Kohlensäure und = 1,415 für ölerzeugendes Gas. Dieses Gesetz kann auch so ausgedrückt werden: die abkühlende Kraft eines Gases ist unter übrigens gleichen Bedingungen einer gewissen Potenz der Spannung proportional, deren Exponent von der Natur des Gases abhängt und für Luft = 0,45; für Hydrogen = 0,315; für Kohlensäure = 0,517 und für ölerzeugendes Gas = 0,501 ist. 7) Die abkühlende Kraft eines Gases verändert sich mit der Temperatur auf eine solche Weise, dafs, wenn dasselbe sich ausdehnen kann und stets die nämliche Spannung beibehält, die abkühlende Kraft um ebenso viel durch die Verdünnung des Gases vermindert, als durch die Vermehrung der Temperatur vergröfsert wird, so dafs sie gänzlich von seiner Spannung abhängt. Mit diesen Resultaten stimmen im Ganzen diejenigen genau überein, welche Dalton[1] erhalten hat, und auch die von H.

---

1 Neues System. Th. I. S. 114.

DAVY[1] gefundenen, wonach das Erkalten am langsamsten im Chlorgas erfolgt.

253) Die gehaltreichsten Versuche über die Erkaltung der Körper sind die von G. BISCHOF[2], die um so mehr allgemeine Anerkennung verdienen, je gröſser die darauf verwandte Mühe war, und weil es nur wenigen Forschern möglich seyn dürfte, solche groſsartige Mittel in Anwendung zu bringen, als hierbei durch die freundliche Mitwirkung des Hütteninspectors ALTHANS zu Gebote standen, welcher den Guſs der zu den Versuchen dienenden Basaltkugeln besorgte. In einem 1,5 Z. dicken, durch Eisendraht zusammengehaltenen Lehmmantel wurde eine Basaltkugel von 21 Zoll rhein. Durchmesser gegossen und nach dem Erstarren in einen Trichter von Eisenblech gelegt, welcher in einem guſseisernen, auf zwei Unterlagen festliegenden Ringe ruhte. So viel als möglich wurde dafür gesorgt, daſs die Kugel mit ihrem Lehmmantel nach allen Seiten frei und während der langen Dauer der Beobachtungen stets gleichmäſsig ausstrahlte. Nach 5,75 Stunden war die Oberfläche noch so heiſs, daſs Blei darauf schmolz; nach 8 Stunden war sie bis 240° R. herabgekommen, von wo aus die Beobachtungen anfingen und bis fast zum gänzlichen Erkalten fortdauerten. In den Mantel war nämlich eine kleine Vertiefung gemacht, in welche die Thermometerkugel gesenkt, mit etwas Messingfeilicht zur besseren Leitung umgeben und mit Sand bedeckt wurde. Um das Verhältniſs der Abkühlung im Innern und auf der Oberfläche zu vergleichen, wurden zwei Löcher hineingebohrt, allein dieses war bei der heiſsen Masse zu schwierig; die hierauf bezüglichen Beobachtungen sind nicht genügend, und stimmen daher mit denen nicht überein, die eine später verfertigte noch gröſsere Kugel mit eingegossenen Löchern gab. Die Beobachtungen begannen am 30sten Dec. um 8 Uhr Abends und endigten am 4ten Jan. Mittags 12 Uhr.

254) Um das Gesetz der Abkühlung zu finden, können die Thermometerstände in Zeiträumen von 12 zu 12 Stunden dienen, indem die Temperatur der Umgebung während der ganzen Dauer von 9°,6 bis 5°,2 R. herabging. Es war, wenn

---

1 Schweigger's Journ. Th. XX. S. 153.

2 Die Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers u. s. w. Leipz. 1837. S. 443 ff.

T, T′, T″.... die Temperaturen der Kugeloberfläche, t, t′, t″..... die der Umgebung bezeichnen, vom 30sten Dec. 8h Morgens bis 2ten Jan. 8h Nachmittags

$$\frac{T - t}{T' - t'} = \frac{230,4}{106,55} = 2,16237$$

$$\frac{T' - t'}{T'' - t''} = \frac{106,55}{48} = 2,21979$$

$$\frac{T'' - t''}{T''' - t'''} = \frac{48}{23,2} = 2,06897$$

$$\frac{T''' - t'''}{T^{IV} - t^{IV}} = \frac{23,2}{10,55} = 2,19905$$

$$\frac{T^{IV} - t^{IV}}{T^{V} - t^{V}} = \frac{10,55}{5,2} = 2,02885$$

$$\frac{T^{V} - t^{V}}{T^{VI} - t^{VI}} = \frac{5,2}{2,35} = 2,21277.$$

Das arithmetische Mittel aus diesen 6 Werthen ist 2,14863. Werden hiernach die Beobachtungen berechnet, so erhält man folgende Werthe:

| Zeit | | | | $T_0 - t_0$ beob-achtet | $T_0 - t_0$ berech-net |
|---|---|---|---|---|---|
| 30. | December | 8 | Uhr Abends | 230°,40 | 230°,40 |
| 31. | — | 8 | — Morgens | 106,55 | 107,23 |
| 31. | — | 8 | — Abends | 48,00 | 49,91 |
| 1. | Januar | 8 | — Morgens | 23,20 | 23,23 |
| 1. | — | 8 | — Abends | 10,55 | 10,81 |
| 2. | — | 8 | — Morgens | 5,20 | 5,03 |
| 2. | — | 8 | — Abends | 2,35 | 2,34 |

Da diese Versuche mit einem so groſsen Körper, als sonst niemals angestellt worden sind, so ist es sehr wichtig, Newton's Gesetz, wonach für eine arithmetische Reihe der Zeiten die Abkühlungen in einer geometrischen Reihe erfolgen, für Körper, bei denen Wärme aus dem Innern zur Oberfläche geleitet wird, bestätigt zu finden[1]. Bezeichnet V die Abkühlungsgeschwin-

1 Alle übrige bisher erwähnte Versuche, auſser die von New-

digkeit, T den Temperaturüberschufs und q den Erkaltungsexponenten für irgend eine Zeiteinheit, so ist nach Newton:

$$V = T\left(1 - \frac{1}{q}\right),$$

dieselbe Elasticität und Gasart vorausgesetzt. Hiernach ist dann

$$V : V' = T : T'$$

oder die Erkaltungsgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Temperaturüberschüsse. Versuche mit zwei andern Basaltkugeln, deren eine 27,27 Zoll rhein., die andere 9,39 Zoll im Durchmesser hatten, bestätigten dieses, und gaben aufserdem noch folgende Resultate: 1) die Abkühlungen beider Kugeln, in gleichen Zeiten und von gleichen Temperaturüberschüssen an gerechnet, verhalten sich genau umgekehrt wie die Durchmesser. 2) Die Zunahme der Temperatur in den erkaltenden Kugeln von aufsen nach innen gab keine arithmetische, sondern eine geometrische Progression. Bezeichnen a, b, c, d.... zu einer gewissen Zeit die Abkühlung in Puncten von der Oberfläche der Basaltkugel nach ihrem Mittelpuncte, deren Abstände eine arithmetische Reihe bilden, und ist e der Erkaltungsexponent für einen gewissen Zeitraum auf der Oberfläche, so scheinen die Temperaturüberschüsse in dem nfachen Zeitraume zu seyn:

$$\frac{a}{e^{n-1}};\quad \frac{b}{e^{n-1}\varepsilon^{n-1}};\quad \frac{c}{e^{n-1}\varepsilon^{2(n-1)}};\quad \frac{d}{e^{n-1}\varepsilon^{3(n-1)}}\ldots,$$

worin $\varepsilon$ ein aus den Beobachtungen zu ermittelnder Coefficient ist. Bei der grofsen Basaltkugel z. B. wurden nach 48 Stunden beobachtet:

| | |
|---|---|
| 9 Zoll vom Mittelpuncte | 109°,8 R. |
| 6,75 - - — — | 124,9 |
| 4,5 - - — — | 136,0 |
| im Mittelpuncte . . . . . | 153,5, |

---

ton, hauptsächlich auch die von Dulong und Petit, wurden mit kleineren Körpern, namentlich mit Flüssigkeiten in Glaskugeln, angestellt, deren Theile sämmtlich von innen nach aufsen die nämliche Temperatur hatten. Auf diesem Umstande beruht vielleicht der Unterschied der erhaltenen Resultate.

$e$ war für den Zeitraum einer Stunde = 1,0409 und $\varepsilon$ = 1,00067.

255) Die bisher erörterten Untersuchungen beziehen sich sämmtlich darauf, die Gesetze des Erkaltens der Körper sowohl an sich, als auch in Beziehung auf ihre Gröfse, die Beschaffenheit ihrer Oberfläche und den Einflufs der sie umgebenden elastischen Medien aufzufinden; es bleibt aber dabei noch eine andere Frage zu beantworten, nämlich die der Geschwindigkeit, in welcher Körper von verschiedener Natur ihre Wärme abgeben, oder über das specifische Erkaltungsvermögen ungleicher Körper. Bestimmungen hierüber können nicht anders erhalten werden, als wenn man gleich grofse Körper von gleicher Form erwärmt und die Zeiten des Erkaltens derselben unter gleichen Bedingungen nach Beobachtungen eines in sie eingesenkten Thermometers mifst. Diesemnach müssen diejenigen Versuche hier ausgeschlossen werden, die man als gleichfalls zur Wärmeleitung gehörig angestellt hat, indem erhitzte Thermometer mit verschiedenen Körpern umgeben und die ungleichen Zeiten ihres Erkaltens gemessen wurden.

256) Der Erste, welcher diese Aufgabe zu lösen versuchte, war Richmann [1]. Er nahm massive Kugeln, 4 Z. im Durchmesser haltend, von Blei, Zinn, Eisen, Kupfer und Messing, bohrte in diese ein cylindrisches Loch von 1 Z. Tiefe und 1 Z. Weite, senkte in dieses ein Thermometer, erhitzte die Kugeln, hing sie mit zwei Fäden an einen Querbalken, in einigem Abstande aber ein anderes Thermometer auf, und beobachtete bei ruhiger Luft die Zeiten des Erkaltens. Inzwischen gingen die Thermometer nicht bis in den Mittelpunct der Kugeln, die Oeffnungen waren zu weit, die Kugeln nicht gleich grofs, was durch Rechnung corrigirt werden sollte; die Versuche wurden nicht oft genug wiederholt, um zufällige Fehler auszumerzen, und sonach konnten die Resultate nicht befriedigend ausfallen. Auch Achard [2] untersuchte die ungleichen Erkaltungszeiten verschiedener Körper, allein diese seine Arbeiten sind durch spätere bessere in Schatten gestellt worden.

---

1 Nov. Comm. Petrop. T. IV. p. 241. V. Crell neuestes chem. Archiv. Th. I. S. 242.

2 Mém. de Berlin. 1783.

Von weit gröfserem Werthe sind einige Versuche, welche Joh. Tob. Mayer[1] mit Kugeln von Eben-, Eschen-, Apfelbaum-, Rothbuchen-, Weifsbuchen-, Pflaumen-, Ulmen-, Sommereichen-, Wintereichen-, Birnbaum-, Birken-, Forlen-, Erlen-, Fichten-, Tannen- und Lindenholz anstellte. Sie hielten sämmtlich 2 Z. im Durchmesser, die Kugel des eingesenkten Thermometers befand sich im Mittelpuncte, der übrige Theil der Oeffnung wurde mit Sägemehl des nämlichen Holzes ausgefüllt und oben mit einem Korke verstopft, die Kugeln wurden in einem Ofenrohre bis 88° oder 94° C. erhitzt, in einem Zimmer von 6° bis 8°,5 Temperatur aufgehangen und die Thermometergrade von 56°,25 bis 37°,5 herab in bestimmten Zeitintervallen aufgeschrieben. Aehnliche Versuche stellte derselbe mit Wasser, Quecksilber, Leinöl und Essig an, die er in eine Glaskugel einschlofs und ein Thermometer einsenkte. Mayer folgerte aus allerdings sehr wahrscheinlichen theoretischen Gründen, dafs ein Körper seine Wärme um so schwerer verlieren werde, aus je mehr Wassertheilchen er besteht und je mehr Wärme diese vermöge ihrer specifischen Capacität enthalten, die sie eben deswegen auch um so stärker festhalten. Setzt man also das Wärmeleitungsvermögen der Zeit, die sie zum Erkalten bedürfen, umgekehrt proportional, nennt dieses Vermögen L, das specifische Gewicht der Körper p und ihre Wärmecapacität c, so hat man

$$L = \frac{1}{pc}$$

für gleiche Volumina[2]. Da das specifische Gewicht der Körper sehr leicht genau bestimmbar ist, so kann diese Formel sowohl zur Auffindung des Erkaltungsvermögens, als auch der specifischen Wärmecapacität gebraucht werden. Mayer fand die Resultate seiner Versuche mit diesem Gesetze nahe übereinstimmend, und die wahrgenommenen Abweichungen lassen sich leicht erklären, wenn man berücksichtigt, dafs namentlich nach Dulong und Petit nicht blofs die Beschaffenheit der

1 Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. Erlangen 1791. V. Crell chem. Ann. 1798. Th. I. S. 443.

2 A. v. Humboldt hat hiernach Tabellen für die Leitungsfähigkeiten verschiedener Körper berechnet. S. v. Crell's chem. Ann. 1792. Th. I. S. 423. Bergmänn. Journ. 1792. Th. I. S. 120.

Oberfläche, sondern auch die Elasticität der umgebenden Luft auf die Zeit des Erkaltens einen bedeutenden Einfluſs ausüben.

257) Wenn ein Körper auf die bisher erörterte Weise erkaltet, so muſs seine Wärme nothwendig durch den ihn umgebenden Raum oder die in demselben sich befindenden Körper durchgehn, somit kommt also hier auf der einen Seite ebenso sehr das *Durchleitungsvermögen* seiner Umgebung in Betrachtung, welches später in einem eigenen Abschnitte untersucht werden soll, als das hier zu erörternde Strahlungsvermögen des Körpers, welcher die Wärme abgiebt, ja selbst das Fortleitungsvermögen seiner Umgebung kann nicht unberücksichtigt bleiben. Sofern hiernach eine scharfe Begrenzung nicht füglich erreichbar ist, mögen hier einige Versuche erwähnt werden, welche wohl mit gleichem Rechte unter die Abtheilung der Durchleitung zu bringen wären. Dahin gehören die von Pictet[1] mit einem sehr zusammengesetzten Apparate angestellten. Dieser bestand aus einer groſsen Glaskugel, welche vermittelst einer Luftpumpe exantlirt, zugleich aber mit trockner und feuchter Luft oder verschiedenen Gasarten angefüllt werden konnte. In dem Ballon befand sich ein empfindliches Thermometer, dessen Kugel das Centrum desselben einnahm, auſserdem ein Elektrometer, ein Saussure'sches Haarhygrometer und ein abgekürztes Heberbarometer. War der Apparat für den beabsichtigten Versuch gehörig hergerichtet, so lieſs Pictet die Strahlen einer Kerzenflamme vermittelst eines Hohlspiegels auf die Thermometerkugel fallen, erwärmte diese dadurch und beobachtete dann die Zeiten ihres Erkaltens unter den verschiedentlich abgeänderten Bedingungen, indem beiläufig auch die zum Erwärmen erforderlichen Zeiten berücksichtigt wurden. Der Einfluſs der mehrfachen mitwirkenden Bedingungen nimmt den erhaltenen Resultaten einen bedeutenden Theil ihres Werthes, weswegen ich mich einer näheren Erörterung derselben überhebe. Auch Leslie[2] hat die ungleichen Zeiten des Erkaltens in atmosphärischer Luft und in Wasserstoffgas, auch bei verschiedenen Dichtigkeiten dieser Gasarten untersucht; wichtiger aber ist dasjenige, was Dalton[3] aus eigenen Ver-

1 Versuch über das Feuer. Cap. IV. V. VI.
2 Inquiry into the nature of Heat. 1804.
3 Ein neues System des chem. Theils der Naturw. Th. I. S. 132.

suchen entnommen hat. Sein Apparat bestand aus einer starken Flasche von etwa 15 bis 20 Kubikzoll Inhalt, welche mit Luft oder der zu prüfenden Gasart gefüllt und gehörig verkorkt auf die Temperatur der Umgebung gebracht wurde. Alsdann ward der Kork herausgezogen und schnell ein anderer mit einem luftdicht in ihm steckenden, vorher erhitzten Thermometer hineingesteckt. Da es bloſs um vergleichbare Resultate zu thun war, so kamen die Thermometergrade selbst nicht in Betrachtung, sondern es waren auf der Röhre zwei Zeichen angebracht, und die Beobachtung beschränkte sich darauf, die Zeit zu messen, binnen welcher das Quecksilber vom oberen Zeichen bis zum unteren sank. Diese betrug in Secunden für

| | |
|---|---|
| kohlensaures Gas . . . . . . . . . . | 112 Sec. |
| Schwefelwasserstoff-, oxydirtes Stick- und ölerzeugendes Gas . . . . . | 100 - |
| Luft, Stickgas, Sauerstoffgas . . . . | 100 - |
| Salpetergas . . . . . . . . . . . | 90 - |
| kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas . . | 70 - |
| Wasserstoffgas . . . . . . . . . . | 40 - |

Die schon von Leslie wahrgenommene starke Leitungskraft des Wasserstoffgases hielt auch Dalton für ebenso auffallend als räthselhaft; übrigens unterliegt dasselbe insofern der allgemeinen Regel, als es im verdünnteren Zustande ein schlechterer Leiter wird, denn 7- bis 8mal verdünnt erforderte es 70 Sec. für die normale Abkühlung des Thermometers. War das Gas zur Hälfte mit Luft gemengt, so betrug die Zeit 62 Secunden. Inwiefern die Verdichtung der Luft einen Einfluſs auf das Durchleitungsvermögen derselben ausübt, hat Dalton durch Versuche ermittelt, die folgende Resultate gaben:

| Dichtigkeit | Abkühlungszeit | Dichtigkeit | Abkühlungszeit |
|---|---|---|---|
| 2 | 85 Sec. | $\frac{1}{8}$ | 140 Sec. |
| 1 | 100 - | $\frac{1}{16}$ | 160 - |
| $\frac{1}{2}$ | 116 - | $\frac{1}{32}$ | 170 - |
| $\frac{1}{4}$ | 128 - | | |

Dalton findet hieraus, daſs die nach Abzug der Strahlung durch bloſsen Einfluſs der Luft bewirkte Abkühlung den Ku-

bikwurzeln der Dichtigkeiten proportional sey. Rechnet man für die erstere 0,4 und für die letztere 0,6 der gesammten Ableitung, die Dichtigkeit d der atmosphärischen Luft = 1 und die Zeit des Abkühlens = 100 angenommen, so wäre die Zeit

$$t = \frac{1}{0{,}004 \times 0{,}006 \times \sqrt[3]{d}},$$

womit die durch Versuche gefundenen Gröſsen sehr wohl übereinstimmen.

258) Vorzüglich gehören hierher die Versuche von Rumford[1], welcher ganz eigentlich die Eigenschaft der Körper, die Wärme durchzulassen, auf dem Wege der Erfahrung auszumitteln suchte. Er bediente sich hierzu einer 1,6 Z. im Durchmesser haltenden Glaskugel an einer 0,75 Z. weiten Röhre, durch welche die Kugel eines Thermometers[2] bis in die Mitte der kugelförmigen Erweiterung gebracht, mit der zu prüfenden Substanz umgeben und dann dessen Röhre mit geätzter Scale vermittelst eines Korkes befestigt wurde. In siedendem Wasser wurde die Kugel bis zur Siedehitze erwärmt, dann in durch Eis erkaltetes Wasser getaucht, und die Zeit, welche das Thermometer erforderte, um von 70° R. bis 10° R. herabzusinken, bestimmte die Leitungsfähigkeit der eingeschlossenen Substanz. Eine Umkehrung dieses Verfahrens bestand darin, die Kugel in Eiswasser zu erkälten und dann die Zeit zu bestimmen, die sie bedurfte, um in siedendem Wasser von 10° R. bis 70° R. erwärmt zu werden. Die auf die letztere Weise erhaltenen Resultate wollen wir ganz unberücksichtigt lassen, von den ersteren aber nur eine allgemeine Uebersicht geben. Die Zeiten des Erkaltens der eingeschlossenen Substanzen von 70° bis 10° R. waren in Secunden

---

1 New Experiments upon Heat, by Col. Sir Benj. Thomson. Lond. 1786. 4. Philos. Trans. T. LXXVI. u. LXXVII. Ebend. T. LXXXII. Jahr 1792. P. I. p. 48. Ueb. in Gren's Journ. Th. VII. S. 245. G. V. 314.

2 Rumford nennt ein solches Thermometer *Passage-Thermometer*; es ist aber unnöthig, hierfür eine besondere Bezeichnung festzusetzen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| für bloſse Luft | . . . . . . . | 576 | Sec. |
| – 16 Gran rohe Seide | . . . | 1248 | — |
| – — Schafwolle | . . . | 1118 | — |
| – — Baumwolle | . . . | 1046 | — |
| – — feine ausgezupfte Leinwand | . . . . . . | 1032 | — |
| – — Biberhaare | . . . | 1296 | — |
| – — Hasenhaare | . . . | 1315 | — |
| – — Eiderdaunen | . . . | 1305 | — |
| – — zerzupften Taffent | | 1169 | — |
| – — Nähseide | . . . . | 917 | — |
| – — umwickeltes Wollengarn | . . . . | 934 | — |
| – — umwickeltes Baumwollengarn | . . | 852 | — |
| – — umwickeltes Leinengarn | . . . . | 873 | — |
| – — umwickelte Leinwand | | 783 | — |
| – 176 Gran pulverisirte Holzkohle | | 940 | — |
| – 195 Gran Lampenruſs | . . | 1171 | — |
| – 307 Gran trockne Holzasche | | 927 | — |
| – 256 Gran semen Lycopodii | . | 1488 | — |

Rumford hat aus diesen Versuchen die Gesetze des Erkaltens im Allgemeinen nicht weiter entwickelt, auch sind sie hierfür nicht mit der erforderlichen Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Bedingungen angestellt, vielmehr ist bloſs die Folgerung daraus abgeleitet, daſs Hasenhaare und rohe Seide am meisten warm halten, weil bei ihnen die längste Zeit erfordert wurde, bis das eingeschlossene Thermometer erkaltete.

259) In gleicher Absicht, als welche die eben genannten Versuche veranlaſste, stellte auch Sennebier[1] eine groſse Reihe an, indem er eine Thermometerkugel mit den verschiedenen zur Bekleidung dienenden Körpern umwickelte, bis 40° C. (der Blutwärme) erhitzte, neben einem unbekleideten Thermometer in kalter Luft aufhing und die Zeiten des Erkaltens maſs. Die Resultate fallen nur zum Theil in den Bereich der

1 Mém. de l'Acad. de Turin. Ann. XIII., daraus in Gehlen's Journ. für Chem., Phys. u. Min. Th. VII. S. 307.

vorliegenden Untersuchung und haben in dieser] Beziehung zu wenig Werth, um eine nähere Berücksichtigung zu verdienen.

260) Eine unglaubliche Menge Versuche über das Erkalten der verschiedenartigsten Körper in ruhiger Luft hat C. W. Boeckmann[1] angestellt. Hierzu bediente er sich sehr dünner Glaskugeln von nur etwa 0,1 bis 0,2 Lin. Glasdicke für Flüssigkeiten, Pulver und fadenartige Körper, die in dieselben eingeschlossen wurden; auf gleiche Weise liefs er aus den verschiedenartigsten Hölzern, Metallen und sonstigen starren Körpern gleichfalls Kugeln verfertigen, insgesammt einander an Gröfse gleich und zwar einen Zoll im Durchmesser haltend. Die Glaskugeln waren mit einer Röhre versehn, in die übrigen war ein cylindrisches Loch gebohrt, um die Kugel eines feinen Thermometers bis in den Mittelpunct einzubringen, dessen Röhre sich dann, bei den Glaskugeln durch einen Pfropfen, bei den übrigen durch einen ausgehöhlten Zapfen von der Masse der Kugeln, befestigen liefs, um die so vorgerichteten Apparate nach dem Erhitzen mittelst einer Schleife von dünnem Messingdraht an einem Gestelle zwischen zwei andern freien Thermometern zum Messen der äufseren Temperatur aufzuhängen. Die Beobachtung der Zeit des Erkaltens geschah für Temperaturverminderungen von 5° zu 5° R. an einem guten Chronometer, und es wurde dabei Sorge getragen, dafs sich die äufsere Temperatur während der ganzen Dauer nicht merklich änderte, die Erwärmung der Kugeln aber geschah durch Einsenken derselben in ein Gefäfs mit feinem Rheinsande, unter welchem eine Weingeistlampe brannte. Die erhaltenen Resultate könnten vielseitig zur Begründung der Erkaltungsgesetze benutzt werden, Boeckmann stellte die Versuche aber nur in der Absicht an, um aus der Zeitdauer des Herabgehens der Kugeln von einer höhern Temperatur zu einer niedrigern unter meistens gleichen Bedingungen die der erforderlichen Zeit umgekehrt proportionale *Wärmeleitung* der verschiedenen Substanzen zu ermitteln; auch sind die von ihm mitgetheilten Beobachtungen zu unvollkommen, als dafs man weitere Resultate, namentlich die specifischen Wärmecapacitäten der zahl-

---

1 Versuche über die Wärmeleitung verschiedener Körper. Carlsr. 1812. 8.

reichen von ihm untersuchten Körper, aus ihnen ableiten könnte. Da es aber keinen anderweitigen gleich zahlreichen Bestimmungen der Erkaltungszeiten so vieler ungleicher, durch gleiche Gröfse aber vergleichbarer Körper giebt, die im Ganzen unter übrigens gleichen Bedingungen beobachtet wurden, so scheint es mir allerdings der Mühe werth, die Zeiten, in denen die Kugeln von 87°,5 bis 25° C. erkalteten, die in Secunden mittlerer Zeit gemessen wurden, und die daraus abgeleitete, der Zeit umgekehrt proportionale, auf Wismuth als Einheit reducirte Wärmeleitung tabellarisch zusammenzustellen.

| Substanzen | Zeit des Erkaltens | Leitung | Substanzen | Zeit des Erkaltens | Leitung |
|---|---|---|---|---|---|
| Wismuth . . . . | 1171 | 1,000 | Hanfstengel . . . | 746 | 1,570 |
| Gold . . . . . . . | 2503 | 0,468 | Mandelbaumholz | 1198 | 0,978 |
| Silber . . . . . . | 2603 | 0,450 | Saffranholz . . . | 1249 | 0,937 |
| Kupfer . . . . . | 3370 | 0,347 | Apfelbaumholz . | 1169 | 1,002 |
| Messing . . . . . | 3446 | 0,340 | Kampherbaumholz | 939 | 1,247 |
| Eisen . . . . . . | 3599 | 0,325 | gelbliches Eisenholz | 1402 | 0,835 |
| Blei . . . . . . . . | 1360 | 0,861 | braunes Eisenholz | 1256 | 0,932 |
| Zinn . . . . . . . . | 1770 | 0,662 | schwarzes Eisenholz | 1557 | 0,752 |
| Zink . . . . . . . . | 2936 | 0,399 | Buchenkohle . . . | 964 | 1,215 |
| Spiefsglanz . . . | 1298 | 0,902 | desgl. gepulvert . | 847 | 1,383 |
| Nickel . . . . . . | 2812 | 0,416 | Buchenasche . . . | 892 | 1,313 |
| Quecksilber . . . | 1416 | 0,827 | Unschlitt . . . . | 2971 | 0,394 |
| Zinn–Blei gl. Th. | 1642 | 0,713 | Wachs . . . . . | 3208 | 0,365 |
| Blei–Kupfer gl. Th. | 2561 | 0,457 | Quecksilberoxyd | 974 | 1,202 |
| Wismuth – Kupfer | 2317 | 0,505 | Bärlapsamen . . . | 1291 | 0,907 |
| Letternmetall . . | 1605 | 0,730 | kohlensaures Natron | 1141 | 1,026 |
| Rose'sches Metall | 1668 | 0,702 | Colcothar . . . . | 1914 | 0,611 |
| Zinn- Zink gl. Th. | 2383 | 0,498 | schwarze Kreide | 1660 | 0,706 |
| Sandstein, röthlich | 1588 | 0,737 | weifse Kreide . . | 1262 | 0,927 |
| grauer Kalk . . . | 1946 | 0,602 | weifser Thon . . | 1597 | 0,733 |
| gelblicher Kalk . | 1729 | 0,677 | gebrannter Thon | 1294 | 0,905 |
| gebrannter Kalk . | 746 | 1,570 | gebrannter. glas. | | |
| gelöschter Kalk . | 1225 | 0,964 | Thon . . . . . | 1322 | 0,886 |
| Lindenholz . . . | 1066 | 1,098 | gelber gebrannter | | |
| Buchenrinde . . . | 1216 | 0,963 | Töpferthon . | 1155 | 1,013 |
| Nufsbaumholz . . | 1007 | 1,163 | römischer Backstein | 1214 | 0,965 |
| Kastanienholz . . | 937 | 1,250 | Dachschiefer . . . | 1824 | 0,642 |
| Pflaumenholz . . | 1239 | 0,945 | Bimsstein . . . . | 801 | 1,462 |
| Citronenholz . . | 1428 | 0,820 | Gyps . . . . . . | 1635 | 0,716 |

| Substanzen | Zeit des Erkaltens | Leitung | Substanzen | Zeit des Erkaltens | Leitung |
|---|---|---|---|---|---|
| gelber Oker . . . | 1474 | 0,794 | Buchenholz . . . | 1099 | 1,066 |
| gelber Bolus . . . | 1486 | 0,720 | Pappelholz . . . | 1064 | 1,101 |
| Röthel . . . . . . | 1751 | 0,669 | Rosenholz . . . . | 1475 | 0,794 |
| Tripel . . . . . . | 936 | 1,251 | Korkholz . . . . | 1253 | 0,935 |
| Molybdän . . . . | 1818 | 0,644 | Korkrinde . . . . | 1026 | 1,141 |
| Mörtel . . . . . . | 1342 | 0,873 | Forlenrinde . . . | 860 | 1,362 |
| Flufssand . . , . | 1333 | 0,878 | Hollundermark . | 698 | 1,678 |
| Eichenholzerde . | 1117 | 1,048 | Birnbaumrinde . . | 1312 | 0,893 |
| Schlammerde . . | 1322 | 0,886 | Eichenrinde . . . | 1208 | 0,969 |
| Gartenerde . . . | 1177 | 0,995 | Ahornholz . . . . | 940 | 1,246 |
| Moorerde . . . . | 1138 | 1,029 | Weinrebenholz . | 1204 | 0,973 |
| Braunsteinpulver | 1657 | 0,707 | spanisches Rohr | 772 | 1,517 |
| kohlens. Talkerde | 1157 | 1,012 | Nufsbaumrinde . | 1153 | 1,015 |
| calcin. Flufsspath-pulver . . . . | 1721 | 0,680 | blaues Brasilienholz | 1277 | 0,917 |
| | | | Pappelrinde . . . | 986 | 1,188 |
| Eisenblumen . . . | 1296 | 0,904 | Königsholz . . . | 1273 | 0,920 |
| Zucker . . . . . . | 1236 | 0,947 | Eichenholz . . . | 1038 | 1,128 |
| Bleiglätte . . . . | 1133 | 1,034 | Ebenholz . . . . | 1630 | 0,718 |
| Kupferblumen . . | 1513 | 0,774 | Birnbaumholz . . | 1213 | 0,965 |
| Zinkblumen . . . | 954 | 1,228 | Ulmenholz . . . | 1259 | 0,930 |
| Mennig . . . . . | 1066 | 1,099 | Birkenholz . . . | 1216 | 0,963 |
| Bleiweifs . . . . | 1190 | 0,984 | Akazienholz . . . | 1125 | 1,041 |
| Salmiak . . . . . | 1886 | 0,621 | Wacholderholz . | 1069 | 1,095 |
| Wismuthblumen | 1124 | 1,042 | Erlenholz . . . . | 1136 | 1,031 |
| Zinnober . . . . | 1142 | 1,025 | Leinöl . . . . . . | 1758 | 0,666 |
| Elfenbein . . . . | 2470 | 0,474 | rectificirtes Bergöl | 1457 | 0,804 |
| schwärzliches Horn | 1981 | 0,591 | salpetersaure Silbersolution . . | 3018 | 0,388 |
| Pappe . . . . . . | 1190 | 0,984 | | | |
| weifse Schafwolle | 1172 | 0,999 | conc. Essigsäure | 2344 | 0,500 |
| schwarzeSchafwolle | 1087 | 1,077 | Salzsäure . . . . | 2603 | 0,450 |
| Katzenhaare . . . | 1024 | 1,144 | Kochsalzsoole . . | 3011 | 0,389 |
| Coconseide . . . | 1137 | 1,030 | salzsaure Zinnsolution . . . . | 2860 | 0,410 |
| Eiderdaunen . . . | 1213 | 0,965 | | | |
| Wasser . . . . . | 2829 | 0,414 | Reisschleim . . . | 3139 | 0,373 |
| Mandelöl . . . . | 1612 | 0,726 | Luft . . . . . . . | 712 | 1,645 |
| Terpentinöl . . . | 1371 | 0,853 | Pfeifenerde . . . | 1587 | 0,738 |
| venet. Terpentin | 2274 | 0,515 | weifser Gypsstein | 1926 | 0,601 |
| conc. Schwefelsäure | 2135 | 0,548 | Gufssand . . . . | 1423 | 0,823 |
| Salpetersäure . . | 2835 | 0,413 | Saalweidenholz . | 845 | 1,386 |
| weifses Glas . . . | 1516 | 0,772 | Taxusholz . . . | 1169 | 1,002 |
| Forlenholz . . . | 1213 | 0,965 | Lerchenholz . . . | 1052 | 1,113 |
| Balsamfichtenholz | 1135 | 1,031 | Vogelbeerholz . . | 1161 | 1,009 |

| Substanzen | Zeit des Erkaltens | Leitung | Substanzen | Zeit des Erkaltens | Leitung |
|---|---|---|---|---|---|
| Weidenholz . . . | 938 | 1,248 | Platanenholz, abendländisches . . | 1394 | 0,840 |
| Trauerweidenholz | 1153 | 1,016 | Weifstannenholz | 1324 | 0,884 |
| Zitterpappelholz | 1153 | 1,016 | americanisches Nufsbaumholz . . . | 1210 | 0,869 |
| schwarzes Pappelholz . . . . . | 1153 | 1,016 | Mahagoniholz . . | 1220 | 0,960 |
| Platanenholz, orientalisches . . . | 1286 | 0,911 | Buchsbaumholz . | 1308 | 0,895 |

261) Boeckmann benutzte seine Versuche noch zur Entscheidung anderweitiger, auf die Gesetze des Erkaltens sich beziehender Fragen, die wir hier noch kurz erwähnen wollen. Gleiche Kugeln von Gyps, die eine nackt, die andere in einer Glashülle, erkalteten in 1173 und 1132 Sec., wonach also das Ausstrahlungsvermögen beider nur wenig verschieden ist, gleiche Kugeln von Rose'schem Metall dagegen in 1668 und 1511 Sec. mit merklicher gröfserer Strahlung der Glashülle. Hiermit stimmt ein Resultat überein, welches Rumford[1] erhielt, indem er heifses Wasser in gleich grofsen gläsernen Flaschen und solchen von Weifsblech erkalten liefs und fand, dafs die ersteren ungeachtet ihrer sechsmal gröfseren Dicke der Wandungen dennoch früher erkalteten. Schneller Wechsel der Luft befördert das Erkalten ausnehmend, denn bei einer blanken Wismuthkugel verhielten sich die Zeiten der Abkühlung von 60° bis 30° R. in ruhiger und in stark bewegter Luft wie 509 zu 203 und bei einer geschwärzten wie 509 zu 213. Bischof fand in seinen (§. 253) erwähnten Versuchen mit ungleich grofsen Kugeln die Zeiten des Erkaltens den Durchmessern proportional, und ein ähnliches Resultat erhielt auch Boeckmann, jedoch mit einer sehr bedeutenden, nicht leicht zu erklärenden Fehlergrenze. Theoretisch richtig bemerkt er, dafs die Zeit des Erkaltens der Masse direct und der Oberfläche umgekehrt proportional seyn müsse, welches für die Durchmesser D und d das Verhältnifs $\frac{D^3}{D^2} : \frac{d^3}{d^2}$, also D:d giebt; er

1 Mém. de l'Institut. T. VI. p. 102.

erhielt aber die Erkaltungszeiten mit Kugeln von 2 und 1 Zoll Durchmesser von 60° bis 30° R. bei Wismuth = 2,35 : 1, bei Zink = 2,08 : 1, bei Hagebuchenholz = 2,59 : 1.

262) Die Versuche, welche mit gleich grofsen Kugeln des schnell erkaltenden Wismuths und des langsam erkaltenden Silbers angestellt wurden, bestätigen das früher hierüber Bekannte. Wird das Leitungsvermögen (oder die Strahlung) den Zeiten des Erkaltens umgekehrt proportional angenommen, so geben folgende Zahlen die Verhältnisse zuerst für Wismuth.

| | |
|---|---|
| Polirte Wismuthkugel | 1,000 |
| mit schwarzem Tusch überzogen | 1,225 |
| mit reiner Goldschlägerhaut überzogen | 1,174 |
| dieselbe, den Ueberzug geschwärzt | 1,196 |
| dieselbe, mit weifser Farbe überzogen | 1,180 |
| mit Gummi befeuchtet und mit Wismuthfeilicht bestreut | 1,132 |
| mit Rauch geschwärzt | 1,252 |
| mit schwarzem Taffent überkleidet | 1,146 |
| mit weifsem Krepp überzogen | 1,118 |
| mit schwarzem Krepp überzogen | 1,120 |
| mit weifsem Taffent überkleidet | 1,154 |
| mit dichtem Musselin überzogen | 1,129 |
| mit weifsem Seidenpapier überzogen | 1,232 |
| dieses mit Tusch gefärbt | 1,246 |
| mit weifsem glasirten Handschuhleder bekleidet | 0,957 |
| durch Gummiwasser mit Flaumfedern bekleidet | 0,926 |
| mit weifsem Flanell überzogen | 0,958 |

Verhältnisse für Silber.

| | |
|---|---|
| Polirte Silberkugel | 1,000 |
| mit Tusch geschwärzt | 1,426 |
| durch Rauch geschwärzt | 1,490 |
| mit Goldschlägerhaut überzogen | 1,487 |
| letztere geschwärzt | 1,436 |
| mit schwarzer Seide überzogen | 1,535 |
| mit weifsem Seidenpapier überzogen | 1,527 |
| dieses geschwärzt | 1,552 |

263) Noch verdienen die Versuche erwähnt zu werden, in denen BOECKMANN[1] die Abkühlungszeiten durch Quecksilber, Wasser und Luft mit einander verglich. Hierbei wurden die erwärmten Kugeln in eine grofse Masse Wasser oder in eine Wanne, die etwa einen Centner Quecksilber enthielt, gesenkt oder in ruhiger Luft aufgehangen; alle drei Medien waren von 15°,7 R. Temperatur und das Quecksilber stieg um etwa 0°,4 bis 0°,7. Die Zeiten des Erkaltens von 60° bis 30° R. waren

| Substanzen | Quecksilber | Wasser | Luft |
|---|---|---|---|
| Eisen . . . . | 7,3 Sec. | 20,0 Sec. | 1533 Sec. |
| Molybdän . . | 8,0 — | 12,2 — | 725 — |
| Wismuth . . . | 8,6 — | 15,0 — | 509 — |
| Quecksilber . . | 13,0 — | 23,0 — | 604 — |
| Nickel . . . . | 25,5 — | 25,8 — | 1220 — |
| Kalkstein . . . | 30,0 — | 29,3 — | 788 — |
| Sandstein . . . | 31,0 — | 31,0 — | 679 — |
| Wasser . . . | 40,5 — | 61,3 — | 1169 — |
| Kohle . . . . | 44,3 — | 159,2 — | 357 — |
| glasirter Thon . | 57,0 — | 70,0 — | 557 — |
| Bimsstein . . . | 75,6 — | 78,0 — | 349 — |
| Buchenholz . . | 77,0 — | 142,0 — | 414 — |
| Elfenbein . . . | 107,0 — | 144,3 — | 982 — |
| Tannenholz . . | 125,5 — | 160,0 — | 438 — |
| Mahagoniholz . | 128,0 — | 168,0 — | 486 — |
| Korkholz . . . | 182,0 — | 383,0 — | 461 — |
| Luft . . . . | 244,2 — | 244,5 — | 317 — |

Hierbei bezieht sich aber die Aufnahme der Wärme auf solche Körper, die mit den wärmeren in unmittelbare Berührung kommen; es sind daher nicht blofs diejenigen, welche Wärme abgeben, sondern zugleich auch diejenigen, welche sie aufnehmen, zu berücksichtigen, worüber später (§. 269) gehandelt werden wird; wir wollen indefs vorläufig einige hiermit zusammenhängende Erscheinungen hier kurz erörtern.

---

1 Schon früher hatte RICHMANN in Nov. Com. Petrop. T. III. p. 309 gefunden, dafs Quecksilber die Wärme leichter annehme und abgebe, als Wasser, ganz gegen die frühere Annahme, wonach dieses Vermögen der Dichtigkeit der Körper umgekehrt proportional seyn sollte.

264) Nobili und Melloni[1] fanden bei ihren früheren Untersuchungen, die zunächst dem *Wärmeabsorptionsvermögen* der verschiedenen Körper gewidmet waren, beiläufig, dafs Quecksilber die strahlende Wärme am besten reflectirt, dann Kupfer und die übrigen Metalle in der Ordnung, wie Leslie sie angiebt, ohne dafs die Politur einen so bedeutenden Einflufs ausübt, als man meistens annimmt; alle nichtmetallische Substanzen besitzen aber fast gar kein Reflexionsvermögen, wie auch ihre Oberflächen beschaffen seyn mögen. Die zur Auffindung des Absorptionsvermögens gewählte Methode dürfte nicht in jeder Hinsicht als die vorzüglichste gelten, weil die Resultate zugleich durch das Ausstrahlungsvermögen bedingt wurden, und sie steht daher weit hinter der zurück, welche Melloni später allein anwandte, wie in der Folge erwähnt werden soll. Sie bestand darin, dafs die zu untersuchenden Substanzen auf runde, an der Hinterseite mit einem Stiel versehene Scheiben von Weifsblech aufgeklebt, einige Augenblicke den Sonnenstrahlen ausgesetzt und dann der Vergleichung wegen paarweise den beiden Enden der thermoelektrischen Säule entgegengehalten wurden, um aus der Menge der dann abgegebenen Wärme auf die Quantität der absorbirten zu schliefsen; die Verwechselung der Scheiben gab zugleich eine Probe der Richtigkeit des gemessenen Unterschiedes. Es zeigten sich vorläufig stets gefurchte Metallscheiben wärmer, als glatte, und sie mufsten daher mehr Wärme absorbirt haben. Um den Einflufs der Farbe auszumitteln, wurden gleiche Scheiben paarweise mit allerlei Mineral- und Pflanzenfarben weifs und schwarz überzogen, andere mit Blättchen von Marmor oder Holz, Seiden-, Wollen- und Baumwollenstoffen, alle entweder von weifser oder schwarzer Farbe, belegt, und stets war die Absorption bei der schwarzen Farbe am stärksten. Sofern dieses ohne Rücksicht auf die sonstige Verschiedenheit der Stoffe statt fand, so berechtigt es zu dem Schlusse, dafs nicht die Natur derselben, sondern die Farbe sich hierbei wirksam zeigte. Um den Einflufs der Farbe und der Oberfläche auszuschliefsen, wurden weifse Zeuge von Baumwolle, Seide, Wolle, Hanf und Leinen von ganz gleichem Gewebe und Gleichheit

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198. Poggendorff's Ann. XXVII. 451.

der Fäden mit Gummiwasser auf die Scheiben geklebt und die Versuche damit angestellt; ihr Absorptionsvermögen zeigte sich in folgender Ordnung zunehmend: Seide, Wolle, Baumwolle, Leinen, Hanf, also dem Durchleitungsvermögen gerade entgegengesetzt. Auf gleiche Weise verhielten sich gleiche Metallplättchen, welche auf die Scheiben geklebt wurden, denn auch hierbei zeigte sich das Absorptionsvermögen in folgender Ordnung zunehmend: Kupfer, Silber, Gold, Stahl, Eisen, Zinn, Blei. Auch Hölzer mit Steinen und Steine mit Blei verglichen gaben hiermit übereinstimmende Resultate, und es muſs daher als allgemeines Gesetz gelten, daſs unter sonst gleichen Bedingungen Körper um so viel mehr Wärme absorbiren, je schlechter sie leiten[1].

265) Mit alleiniger Rücksicht auf den Einfluſs, welchen die Verschiedenheiten der Farbe auf die Strahlung, namentlich die *Einstrahlung*, der Wärme ausüben, sind verschiedene Versuche angestellt worden, die noch eine kurze Erwähnung verdienen. Ueber die gröſsere Erwärmung der dunklen Körper durch die Sonnenstrahlen ist oben (§. 54) gehandelt worden, und man kann dieses auf die leuchtenden Wärmestrahlen überhaupt ausdehnen; es blieb dabei aber immer fraglich, ob sich bei den nicht leuchtenden Wärmestrahlen etwas Aehnliches zeigt, und diese Frage wurde eigentlich von den Physikern kaum mit Bestimmtheit aufgeworfen. Ueberhaupt ist zu bedauern, daſs man die Erscheinungen der dunklen Wärme von denen, die mit Licht verbunden sind, früher nicht genügend sonderte, da es fast unumgänglich nöthig ist, zuerst das Verhalten der dunklen Wärme, also der Wärme an sich, zu erforschen[2] und dann zugleich die durch den Einfluſs des Lichtes modificirten Erscheinungen zu untersuchen. Die oben erwähnten Versuche bezogen sich bloſs auf leuchtende Wärmestrahlen, Humphry Davy[3] deutet indeſs im Allgemeinen an, daſs die Farbe der Körper wahrscheinlich einen Einfluſs auf ihr Vermögen, Wärme jeder Art aufzunehmen, ausübe. Hierdurch aufmerksam gemacht äuſsert Turner[4],

---

1 Dieses Resultat ist zwar schätzbar, allein dennoch ohne höheren Werth, weil die Bestimmung des Quantitativen der absorbirten und reflectirten Wärme fehlt.

2 Schon Mariotte in Traité des couleurs. Par. 1777. p. 288 erkannte die Nothwendigkeit hiervon.

3 Elements of chemical philosophy. Lond. 1802. P. I.

4 Elements of Chemistry 4th Ed. p. 18.

es sey wünschenswerth zu untersuchen, ob man der *Farbe* der Körper irgend einen Einfluſs auf das Absorptionsvermögen auch der dunklen Wärme zuschreiben müsse, und Thomas Thomson[1] bemerkt ausdrücklich, es sey bis jetzt unmöglich gewesen, zu ermitteln, ob Härte, Weichheit und Farbe irgend einen Einfluſs auf die Wärmestrahlung ausübe. Diese Lücke beabsichtigte James Starck[2] auszufüllen, und obgleich seine Versuche auch unter den Abschnitt *Durchleitung* zu bringen wären, so wollen wir sie doch den bisher betrachteten anreihen.

266) Starck bediente sich eines sehr einfachen, dem von Rumford gebrauchten nachgebildeten Apparates, eines feinen Thermometers, welches in eine unten verschlossene Glasröhre gesenkt und dessen Kugel dann mit den zu untersuchenden Körpern umgeben wurde. Die so vorgerichtete Röhre lieſs er bis 10° C. erkalten, senkte sie dann in siedendes Wasser und maſs die Zeit, bis das Thermometer bis 76°,67 C. gestiegen war. Von seinen vielen Versuchen wird es genügen, nur die Hauptresultate der wichtigsten kurz mitzutheilen. Bei Anwendung feiner Wolle stieg das Thermometer zu der angegebenen Höhe

| | | | |
|---|---|---|---|
| bei schwarzer in | 4 Min. | 30 Sec. | |
| — dunkelgrüner in | 5 — | 0 — | |
| — scharlachrother in | 5 — | 30 — | |
| — weiſser in | 8 — | 0 — | |

Als statt 30 Gr. Wolle nur 20 Gr. genommen wurden, zeigte sich ein geringerer Unterschied, denn die Erwärmung erfolgte

| | | |
|---|---|---|
| bei schwarzer in | 6 Min. | 35 Sec. |
| — dunkelgrüner in | 7 — | 43 — |
| — scharlachrother in | 8 — | 3 — |
| — weiſser in | 8 — | 45 — |

Starck stellte demnächst zwei Versuchsreihen an, um den Einfluſs der Farbe auf leuchtende Wärmestrahlen zu ermitteln, und bediente sich dabei eines empfindlichen Luftthermometers,

---

1 An Outline of the Sciences of Heat and Electricity. Lond. 1830. p. 147.

2 Philos. Trans. 1833. P. II. p. 285. Edinburgh New. Phil. Journ. N. XXXIII. p. 65.

dessen Kugel mit einer dicken Lage des Pigments überzogen war, auf welche dann die durch einen 3zolligen Hohlspiegel reflectirten Strahlen einer Argand'schen Lampe so lange fielen, bis das Thermometer seinen höchsten Stand erreicht hatte und stationär wurde oder wieder zurückging. Hierbei stieg das Thermometer im Mittel aus drei wenig von einander abweichenden Versuchen von 1° der Scale, welche 10 Theile auf 1 Zoll enthielt,

| | |
|---|---|
| bei Schwarz von Lampenrufs bis | 83° |
| — tiefem Braun . . . . . . | 74 |
| — Orangeroth . . . . . . . | 58 |
| — Gelb . . . . . . . . | 53 |
| — Weifs . . . . . . . . | 45 |

Als der Ueberzug sehr dünn und die Flamme mehr ermäfsigt war, stieg das Thermometer von 1°

| | |
|---|---|
| bei Schwarz bis | 52° |
| — Berlinerblau | 50 |
| — Umbrabraun | 47 |
| — Grün . . . . | 44 |
| — Orangeroth | 44 |
| — Gelb . . . . | 39 |
| — Weifs . . . | 34 |

Um durch ein umgekehrtes Verfahren den Einflufs der Farben auf die Ausstrahlung zu messen, wurde das erste Thermometer mit 30 Gr. gefärbter Wolle umgeben, dann in heifsem Wasser bis 87°,78 C. erhitzt, demnächst, nachdem es bis 82°,22 erkaltet war, in Wasser von 7°,22 C. getaucht, und erkaltete dann bis 10° C.

| | |
|---|---|
| bei schwarzer Wolle in | 21 Min. |
| — rother . . . . . | 26 — |
| — weifser . . . . . | 27 — |

War die Thermometerkugel statt mit 30 Gr. nur mit 20 Gr. umgeben, so erfolgte das Erkalten

| | |
|---|---|
| bei schwarzer Wolle in | 15 Min. 45 Sec. |
| — rother . . . . . . | 17 — 0 — |
| — weifser . . . . . | 18 — 30 — |

Einen gleichen Einflufs der Farbe auf die Wärmestrahlung

zeigten die folgenden zwei Versuchsreihen, deren erste mit gefärbtem feinem Weizenmehl angestellt wurde, womit die Kugel des ersten Thermometers umgeben war. Die Quantität desselben betrug 100 Gr. und die Art der Messung war ganz dieselbe, als bei Anwendung der Wolle. Die Erkaltung erfolgte

| | | | |
|---|---|---|---|
| bei schwarz gefärbtem Mehl in | 9 Min. | 50 Sec. |
| — braun gefärbtem . . . | 11 — | 0 — |
| — gelb gefärbtem . . . . | 12 — | 0 — |
| — weiſsem . . . . . . . | 12 — | 15 — |

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde die Kugel des Luftthermometers mit verschiedenen Farben überzogen, bis zu 100 Graden der oben angegebenen Scale erhitzt und dann die Zeit des Erkaltens bis zu 1 Grad gemessen. Im Mittel wurden hierzu erfordert

| | | |
|---|---|---|
| für die schwarz gefärbte Kugel | 2 Min. | 2,5 Sec. |
| — — braun gefärbte — | 2 — | 40,0 — |
| — — orangeroth gefärbte — | 2 — | 44,5 — |
| — — gelb gefärbte — | 4 — | 29,0 — |
| — — weiſs gefärbte — | 5 — | 50,5 — |

267) Die hier mitgetheilten Resultate und die daraus abgeleiteten Folgerungen sind von mehreren Seiten angegriffen worden. Baden Powell[1], welcher sich überhaupt viel mit der Optik beschäftigt und die Gesetze der Strahlung speciell in einer ausführlichen Abhandlung[2] erörtert hat, bezieht sich auf eine frühere Bemerkung von Leslie, daſs der Einfluſs der Farbe auf die Strahlung gar nicht zu ermitteln sey, weil jederzeit ein Pigment angewandt werde, dessen eigenthümliche Beschaffenheit dabei unberücksichtigt bleibe. Obgleich daher die erwähnten Versuche allerdings von groſser Wichtigkeit sind, so fehlt uns doch gänzlich die Kenntniſs der eigenthümlichen Beschaffenheit der Körperelemente, wodurch die Farbe bedingt wird. Vor allen Dingen aber meint auch Baden Powell mit Recht, daſs bei einigen der Versuche die leuchtende Wärme von der dunkeln nicht geschieden sey, da doch nach H. Davy und vielen Anderen die durch das Licht erzeugte Wärme ganz verschie-

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXIV. p. 228.
2 Reports of the British Assoc. T. I. p. 203 ff.

den von der aus dunklen Wärmequellen hervorgehenden sey. Aufserdem aber bleibt von ihm nicht unbemerkt, dafs die Versuche nicht eigentlich zur Strahlung gehören, sondern vielmehr zur *Durchleitung*, welche von der eigentlichen Beschaffenheit der Körper abhängt. Beide lassen sich, wie bereits bemerkt wurde, nicht trennen, inzwischen ist wohl unverkennbar, dafs sowohl bei diesen, als den ähnlichen Versuchen von Rumford, Sennebier und Andern, wobei die das Thermometer umhüllenden Substanzen in eine Glasröhre eingeschlossen waren, letztere also eine unveränderte strahlende Oberfläche bildete, zunächst nur das Durchleitungsvermögen in Betrachtung kommt, es dabei also stets fraglich bleibt, ob wirklich die Farbe, sofern diese in nächster Beziehung zum Lichte steht, und nicht vielmehr die durch das Pigment veränderte Beschaffenheit der Körper hierbei allein oder mindestens theilweise bedingend wirkt. Hätte Powell die so eben erwähnten Versuche von Boeckmann gekannt, so wäre es für ihn leicht gewesen, aus diesen einen bedeutenden Einwurf gegen den Einflufs der blofsen Farbe auf das Strahlungsvermögen der dunklen Wärme und namentlich gegen das Resultat zu entnehmen, dafs dasselbe durch die schwarze Farbe verstärkt werde, denn allerdings erkaltete die mit schwarzem Seidenzeuge überkleidete Wismuthkugel (§. 262) unter allen am schnellsten, allein mit blofser Goldschlägerhaut überzogen erkaltete sie schneller, als nachdem diese geschwärzt war, wodurch die ganze Hypothese, dafs die Farbe, als solche, auf das Strahlungsvermögen der dunklen Wärme einen bedeutenden Einflufs ausübe, im hohen Grade wankend wird. So viel scheint aus der Mehrzahl der durch zahlreiche Versuche erhaltenen Resultate evident hervorzugehn, dafs schwarze Oberflächen die Wärme überhaupt am leichtesten ein- und ausstrahlen lassen, der Einflufs sonstiger Färbungen bleibt aber stets sehr problematisch. Später zu erwähnende Versuche geben hierüber nähere Auskunft.

268) Einen zweiten Gegner fand Starck in dem Professor A. D. Bache[1] in Pennsylvanien. Dieser bemerkt zuerst, dafs die Versuche mit leuchtender Wärme aus angegebenen

1 Aus Silliman Am. Journ. T. XXX. p. 16 in Bibl. univ. 1837. Janv. p. 168 u. Edinburgh New Phil. Journ. N. XLII. p. 249.

Gründen gar nicht hergehören und auch nicht eigentlich diejenigen, in denen die Thermometerkugel mit verschiedenen Substanzen nach Rumford's Methode umgeben war, weswegen nur diejenigen übrig bleiben, bei denen die mit verschiedenen Pigmenten bekleidete Thermometerkugel in ungleichen Zeiten erkaltete. Leslie's Satz, dafs der Einflufs der Farbe überhaupt nicht auszumitteln sey, weil die ungleiche Beschaffenheit der Pigmente allzu bedingend einwirke, hält er zwar für wichtig, glaubt aber, dafs man durch vielfache Veränderungen der Farbenstoffe und der Art, sie aufzutragen, dieser Schwierigkeit begegnen könne. Zu diesem Zweck verschaffte er sich verschiedene Cylinder von Zinn, 2 Zoll hoch, 1,5 Z. im Durchmesser, unten verschlossen, oben mit einer konischen Röhre versehen, um mittelst eines Korkes die Kugel eines feinen Thermometers in die Mitte des Gefäfses zu bringen. Diese wurden mit den erforderlichen Pigmenten überzogen, mit kochendem Wasser gefüllt und nach eingesenktem Thermometer gehörig aufgehangen, worauf ein Beobachter die Wärmegrade, der andere die verflossenen Zeiten aufnotirte. Nachdem durch mehrere Versuche die Zeit des Erkaltens von einer bestimmten Temperatur bis zu einer andern, gleichfalls bestimmten, bei gleicher Wärme der Umgebung genau constatirt worden war, wurde eine neue Lage des Pigments aufgetragen, und damit fortgefahren, bis die Zeit der Abkühlung wieder zuzunehmen anfing, und sich hierdurch zeigte, dafs die Strahlung in Durchleitung überging. Beispielsweise diene eine Reihe dieser Versuche, bei Ueberzügen von Berlinerblau:

| Lagen | Zeit des Erkaltens | Lagen | Zeit des Erkaltens |
|---|---|---|---|
| 1 | 1011,50 Sec. | 4 | 829,5 Sec. |
| 2 | 965,00 — | 5 | 805,0 — |
| 3 | 910,75 — | 6 | 842,0 — |

Mit Uebergehung der andern wohlgewählten Mittel, um sowohl die Beobachtungsfehler möglichst zu vermeiden, als auch die Einflüsse anderweitiger Bedingungen zu beseitigen, um die Resultate genau unter einander vergleichbar zu machen, mögen hier nur die mittleren Werthe aus den erhaltenen Gröfsen tabellarisch zusammengestellt Platz finden.

| Nr. | Farbestoff | Farbe | Zeit | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Lackmus . . . . | Blau . . . | 728 Sec. | — |
| 2 | Berlinerblau . . . | Blau . . . | 729 — | rauh |
| 3 | Kupferammoniak | Grünblau . | 789 — | desgleichen |
| 4 | Mangan-Peroxyd | Schwarzbraun | 804 — | nicht glänzend |
| 5 | chinesischer Tusch | Schwarz . | 804 — | nicht glatt |
| 6 | doppelt chromsaures Kali . . . . . | Braun . . . | 810 — | streifig |
| 7 | chinesischer Tusch | Schwarz . . | 817 — | glatt |
| 8 | Alcanna . . . . . | Roth . . . | 828 — | nicht glänzend |
| 9 | Bleiweiſs mit Lavendelöl . . . | Weiſs . . . | 830 — | glatt, nicht glänzend |
| 10 | Schwefelblei . . | Schwarz . . | 837 — | — |
| 11 | blaue Ochsenzungenwurzel . . | Blau . . . . | 838 — | — |
| 12 | kohlensaure Magnesia . . . . | Weiſs . . . | 846 — | rauh |
| 13 | Bleiweiſs mit Gummi . . . . . . | Weiſs . . . | 864 — | glatt |
| 14 | Kreide . . . . . | Weiſs . . . | 865 — | — |
| 15 | Zinnober . . . . | Roth . . . | 872 — | glatt |
| 16 | Schwerspath . . . | Bläulichweiſs | 873 — | rauh |
| 17 | Schwefelantimon | Braun . . . | 909 — | glatt mit Streifen |
| 18 | Indigo . . . . . | Blau . . . | 912 — | glatt |
| 19 | Carmin . . . . . | Carmoisin . | 944 — | desgleichen |
| 20 | Mennig . . . . . | Gelbroth . . | 952 — | desgleichen |
| 21 | schwefelsaurer Baryt . . . . . . | Weiſs . . . | 957 — | — |
| 22 | Graphit . . . . . | Schwarz . . | 974 — | nicht glänzend |
| 23 | chromsaures Blei | Gelb . . . | 977 — | glatt |
| 24 | Gummigutt . . . | Olivenfarbe | 1005 — | desgleichen mit Streifen |
| 25 | doppelt schwefelsaures Zinn . . | Gelb . . . | 1085 — | glatt |

Aus dieser interessanten Versuchsreihe geht wohl hervor, daſs ein eigentlicher Einfluſs der Farbe auf die Wärmestrahlung nicht statt findet, denn Blau macht den Anfang und findet sich wieder unter Nr. 18, Roth kommt unter den Nummern 9, 15 und 19 vor u. s. w. Hiernach kommt also die Farbe der Kleider, auſser bei Sonnenschein, rücksichtlich der Erwärmung nicht in Betrachtung. Selbst die Glätte, die bei Metallen von so groſsem Einfluſs ist, zeigt sich hierbei nicht sehr wirksam. Es scheint sogar hervorzugehn, daſs die Strahlung

der dunklen Wärme auf keine Weise von der Farbe und selbst nicht von der chemischen Beschaffenheit der Körper abhängt, sondern daſs jede einzelne Substanz ein eigenthümliches Vermögen besitze, welches vorläufig bloſs durch Versuche bestimmbar ist[1].

## γ) Uebergang der Wärme aus einem Körper in einen andern.

269) Bei den bisherigen, unter Strahlung zusammengefaſsten Untersuchungen kamen alle diejenigen Erscheinungen in Betrachtung, wobei die Wärme einen Körper verläſst oder auch von demselben aufgenommen wird, ohne den gegenseitigen Austausch beider Körper zu berücksichtigen. Wenn ferner Körper ihre Wärme ausstrahlen, so kann dieses zwar in den leeren Raum geschehn, allein für alle irdische Erfahrungen muſs dieser wieder durch irgend eine Hülle umgrenzt seyn, und ebenso muſs die Quelle, aus welcher Wärme zum Körper strahlt, sich an irgend einem zu diesem Körper relativen Orte befinden. Bisher wurde auf diesen Abstand nicht Rücksicht genommen, auſser insofern die Luft oder tropfbare Flüssigkeiten der Oberfläche des fraglichen Körpers zuströmen und von der daselbst vorhandenen Wärme einen Theil abführen oder derselben mittheilen. Ist der Abstand beider Körper von einander ein groſser, so können die hieraus hervorgehenden Modificationen vernachlässigt werden, allein der Abstand kann auch kleiner werden und bis zur gänzlichen Berührung verschwinden. Ist im letzteren Falle diese Berührung innig und

---

1 Gelehrte theoretische Untersuchungen über Wärmestrahlung, aus denen nicht füglich ein kurzer Auszug mitgetheilt werden kann, sind enthalten in Fourier Théorie analytique de la chaleur. Par. 1822. 4. Von demselben eine Abhandlung in Mém. de l'Inst. T. V. und T. VIII. p. 581, desgleichen in Ann. de Chim. et Phys. T. IV. p. 128. T. VI. p. 259. T. XXVII. p. 236. T. XXVIII. p. 37 und Poggendorff's Ann. II. 359. Lond. and Edinb. Philos. Mag. N. VIII. p. 103. Ferner von Poisson in Théorie mathématique de la Chaleur. Par. 1835. 4., desgleichen in Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 225. T. XXVIII. p. 337 eine Abhandlung von Libri, der Akademie im Jahre 1825 mitgetheilt. S. Crelle Journ. für reine und angewandte Mathematik. Th. VII. S. 116.

vollkommen, so würden die statt findenden Wärmephänomene zur Fortpflanzung der Wärme in den Körpern gehören, wobei jedoch die eigenthümliche Beschaffenheit der mit einander verbundenen gewisse Modificationen herbeiführt. Inzwischen kommen auch diejenigen Fälle in Betrachtung, wobei eine dünne Lage zwei Kürper trennt, welche dann die Wärme des einen bloſs aufnimmt, um sie sofort an den andern wieder abzugeben.

270) Nach einer durch Prevost[1] aufgestellten Hypothese befindet sich die Wärme eines jeden Körpers in steter Strahlung, wie hoch oder tief auch seine Temperatur seyn mag. Es strahlt daher der wärmere Körper gegen den kälteren und letzterer gegen den ersteren, jedoch überwinden die stärkeren Strahlungen die schwächeren, die kälteren Körper nehmen daher Wärme von den wärmeren auf. Es wäre allerdings zulässig, dieser Vorstellung Raum zu geben, wenn man die Wärme als das Resultat bloſser Vibrationen betrachten wollte, in welchem Falle dann solche und nichts anderes, also auch kein eigentlicher Uebergang derselben von einem Körper zum andern, in allen Körpern statt finden müſsten, der absolute Nullpunct aber als ein vollkommenes Ruhen der Körpertheilchen zu betrachten wäre. Ich glaube jedoch, daſs wir einer solchen künstlichen Hypothese zur Erklärung der Thatsachen nicht bedürfen, wie bereits oben aus triftigen Gründen gefolgert worden ist, im Ganzen aber schon daraus hervorgeht, daſs eine solche stets fortdauernde, bald stärkere, bald schwächere Undulation, deren vielfache Modificationen sich kaum auf irgend eine Weise naturgemäſs als hinlänglich begründet nachweisen lassen, auf bloſsen Voraussetzungen beruht. Weit einfacher ist es, die Wärmephänomene von einer ätherischen Flüssigkeit abzuleiten, deren Molecüle zwar Repulsion unter sich ausüben, zugleich aber der Anziehung gegen die Molecüle der Körper unterworfen sind. Hieraus folgt dann von selbst, daſs im Conflicte dieser beiden Kräfte die Attraction des minder warmen, ins-

1 Exposition élémentaire des principes qui servent de base à la théorie de la chaleur rayonnante. Génève et Par. 1832. 8. Vergl. Biblioth. univ. 1832. Nov. p. 243. Mém. de la Soc. de Génève. T. II. P. II. p. 161. Aeltere Untersuchungen von ihm in Rozier's Journ. 1791. Mars. Daraus in Gren's Journ. T. VI. p. 325.

besondere nach Maſsgabe der hierbei thätig mitwirkenden zwischenliegenden Körper, gegen die Repulsion des wärmeren überwiegend wirken und er von diesem einen Theil seiner Wärme aufnehmen wird.

Handelt es sich zuerst um eine dünne Lage, welche den die Wärme abgebenden von dem sie aufnehmenden Körper trennt, so kommt hierbei der so eben ausführlich untersuchte Einfluſs der Flächen auf die Strahlung in Betrachtung. Der Einfluſs der Flächen ist aber nur in der Beziehung untersucht worden, wenn die Ausstrahlung in die Luft oder den leeren Raum statt findet; er fällt aber weg, wenn ein fester Körper mit einem strahlenden festen Körper in unmittelbarer Berührung ist, ja er wird schon bedeutend geschwächt, wo nicht gleichfalls gänzlich aufgehoben, wenn ein tropfbar flüssiger denselben berührt. Hat der Körper, welcher die Wärme von einem andern ihn berührenden aufnimmt, eine bedeutende Dicke, so daſs die Wärme in ihm eine beträchtliche Strecke zurücklegen muſs, so gehören die Erscheinungen zur Classe derjenigen, die sich auf die *Fortpflanzung* beziehn, und wenn die Wärme von einem Körper aufgenommen und bei nicht beträchtlicher Dicke desselben an seiner andern Seite wieder abgegeben wird, unter die Classe der *Durchleitungsphänomene*. Es bleiben daher für diesen Abschnitt nur einige Erscheinungen übrig, in denen die Wärme von einem Körper nicht durch freie Strahlung, namentlich im luftleeren Raume, abgegeben oder aufgenommen wird, sondern von einem zum andern, in sogenannter unmittelbarer Berührung sich befindenden Körper übergeht, ohne die Fortpflanzung derselben in dem sie aufnehmenden näher zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist die hierzu erforderliche Zeit der specifischen Wärmecapacität und dem Fortleitungsvermögen der aufnehmenden Körper umgekehrt proportional. Ueber das hierauf beruhende schnellere Erkalten der Körper in den verschiedenen Gasarten und in Flüssigkeiten ist bereits gehandelt worden, und mehrere sonstige Erscheinungen, die ihrer Menge wegen noch nicht sämmtlich auf bestimmte Gesetze zurückgeführt worden sind, lassen sich leicht erklären. Dahin gehören namentlich die täuschenden Schlüsse über die Temperaturen verschiedener Körper, wenn man diese auf das bloſse Gefühl beim Berühren gründet und sie für wärmer oder kälter hält, je nachdem sie die Wärme schneller aufnehmen und ab-

geben. So scheinen z. B. Metalle, namentlich Quecksilber, Wasser, Steine u. s. w. wärmer oder kälter als Asche, Holz, Leder u. s. w., wenn ihre übrigens gleiche Temperatur höher oder niedriger ist, als die der Hand. Hierher gehört ferner das augenblickliche Festfrieren der nassen Hand oder Zunge an Metallen bei strenger Kälte, was bei gleich kaltem Holze, Leder u. s. w. nicht statt findet, das Anlegen des Reifes bei strenger Kälte an Fensterscheiben und Metalle, welche von aufsen her bis in geheizte Zimmer geleitet sind, oder an Mauern nach eingetretenem Thauwetter, das Aufnehmen des Wasserdunstes und Lichtschwalkes, welches durch massive Wände geschieht, während hölzerne davon frei bleiben, und eine Menge ähnlicher Erscheinungen, deren Erklärung keinen Schwierigkeiten unterliegt. Wir haben inzwischen in dieser Beziehung noch drei höchst wichtige Phänomene zu untersuchen, welche unter dem Namen des Leidenfrost'schen Versuches, der Unverbrennlichkeit der Menschen und des Trevelyan'schen Apparates bekannt sind.

271) Leidenfrost[1] wollte nach der Ansicht von den vier Elementen diejenige Urerde auffinden, welche aus dem Wasser durch Verdichtung entstehe, und liefs daher anhaltend Wasser in einem erhitzten eisernen Löffel verdampfen. Hierbei gewahrte er, dafs kleine Quantitäten des Wassers beim Erglühen des Löffels sich zu runden Tropfen formirten, die Fläche des Metalls nicht mehr benetzten und ungleich langsamer verdampften, als durch eine die Siedehitze nicht viel übersteigende Wärme, weswegen er bei der Bekanntmachung dieser Phänomene den Satz aufstellte, die Quantität des verdampfenden Wassers sey der Hitze des Metalles umgekehrt proportional. Um hierbei gleich grofse Tropfen zu erhalten, bediente er sich eines Glasröhrchens. Ziegler[2] wiederholte diese Versuche und bemühte sich, die Temperatur aufzufinden, bei welcher gleich grofse Tropfen am schnellsten verdunsten, die er bei 149° C. setzte, indem er gleichfalls zu dem Resultate gelangte,

---

1 De aquae comm. nonnullis qualit. Duisb. 1756. Eine selten gewordene Dissertation. Eller scheint die Eigenschaft, dafs Wassertropfen über glühendes Metall schnell hinrollen, zuerst wahrgenommen zu haben. S. Hist. de l'Acad. de Berlin. 1746. p. 42.

2 Specimen de Digestore Papini. Bas. 1765.

dafs die zum Verschwinden des Tropfens erforderliche Zeit mit der Hitze zunehme. Hiernach suchte LAMBERT[1] die Curve der Verdunstungen aufzufinden, wenn die Zeiten die Ordinaten, die Temperaturen aber die Abscissen bilden; allein der bloſse Anblick der Figur zeigt zu groſse Abweichungen für die höheren Grade, als dafs man auf ein bestimmtes Gesetz schlieſsen dürfte, welches entweder nicht existirt, oder wegen unüberwindlicher Schwierigkeiten der Experimente nicht wohl aufzufinden ist. Bei meinen häufigen Wiederholungen dieser Versuche habe ich zwar keine eigentlichen Messungen angestellt, nach bloſser Schätzung aber dieses Gesetz nicht bestätigt gefunden. Von der Temperatur an, wo das Phänomen eben eintritt, wächst allerdings die zum Verdunsten erforderliche Zeit mit zunehmender Hitze, ist aber die Glühhitze nahe oder schon erreicht, dann erfolgt das Verdunsten bis zur Weiſsglühhitze zunehmend schneller. Es verdient jedoch nicht übersehn zu werden, dafs ZIEGLER seine Versuche nur bis zu 271° C. Temperatur ausdehnte. Wiederholt wurden die Versuche ferner durch LINK[2], KASTNER[3], OERSTED[4] und vorzüglich durch KLAPROTH[5], welcher gleichfalls fand, dafs die zur Verdunstung gleich groſser Tropfen erforderlichen Zeiten mit der Zunahme der Temperaturen abnehmen, auſserdem aber, dafs sie bei ungleichen Metallen verschieden sind. Sie betrugen bei Eisen 40 Sec., bei Silber 60 Sec. und bei Platin 70 Sec. RUMFORD[6] fand bei seinen Untersuchungen über das Wesen der Wärme, dafs Wassertropfen über sehr heiſses, selbst glühendes Metall hinrollen, ohne dasselbe zu benetzen oder auf gewöhnliche Weise zu verdampfen; er schwärzte ferner die innere Seite eines silbernen Theelöffels mit Lampenruſs und brachte einen Wassertropfen hinein, welcher rund blieb und bei starker Erhitzung des Löffels nicht verdampfte; auch gab er an, dafs ein Wassertropfen an einem kleinen Hölzchen mitten in die helle Flamme einer frisch geschneuzten Kerze gehalten nicht

1 Pyrometrie. p. 130.
2 Beiträge zur Phys. u. Chem. St. 2. S. 11.
3 Trommsdorff's Journ. Th. XI. S. 270.
4 Gehlen's n. allgem. Journ. Th. III. S. 324.
5 Scherer's allg. Journ. d. Chemie. Th. VII. S. 646.
6 Mémoires sur la Chaleur. p. 93. G. XVII. 33.

verdampft. Alle diese Erscheinungen betrachtet er als Folge der blanken Oberfläche des Tropfens und seiner Transparenz, vermöge welcher die von ihm hypothetisch angenommenen Wärmewellen theils zurückgeworfen, theils wie die Lichtstrahlen durchgelassen werden, ohne die Temperatur merklich zu erhöhn, eine durchaus ungenügende Hypothese, weil es nach derselben überhaupt unmöglich seyn würde, klares Wasser zum Sieden zu bringen.

272) Der Versuch wurde später sehr häufig in der Absicht wiederholt, um auf die genauere Kenntnifs des Phänomens und seiner Bedingungen eine Erklärung zu gründen, die jedoch durch eine zufällige Beobachtung von selbst gegeben zu seyn schien. Nach einer Erzählung von Perkins[1] zersprang einst der Generator (Dampferzeuger, Dampfkessel) seiner Hochdruckmaschine mit einem starken Knalle, allein die Maschine blieb dennoch im Gange und die Ursache des Knalles war dadurch räthselhaft; als aber das Feuer vermindert wurde und der Generator sich abkühlte, strömte das Wasser aus demselben mit schrecklichem Getöse ins Feuer, und nach der Oeffnung des Heizraumes zeigte sich in der ganzen Länge des Generators ein starker Rifs. Um die auffallende Erscheinung weiter zu verfolgen, wurde der Heizraum wieder hergestellt, der Generator wieder bis zum Glühen erhitzt und Wasser hineingepumpt, worauf die Maschine abermals ohne Entweichen von Dampf arbeitete. Hierauf bohrte Perkins unten in einen neuen Generator ein Loch von $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmesser, schraubte ein eisernes, aufwärts gebogenes Rohr hinein, versah dieses am oberen Ende mit einem Hahn, erhitzte den Generator abermals, und öffnete dann den Hahn des Rohrs, sah aber keinen Dampf entweichen, ungeachtet er dessen Spannung auf 4000 Atmosphären schätzte. Hieraus folgert er, dafs die Wärme des bis 344° C. erhitzten Metalles gegen Wasser sowohl, als auch sogar gegen Wasserdampf eine bis auf $\frac{1}{16}$ Zoll sich erstreckende Repulsion ausübe, wodurch dann allerdings sowohl das angegebene Phänomen, als auch Leidenfrost's Versuch eine hinlängliche Erklärung fände. Indefs weifs ich nicht, ob die Erzählung von Perkins aus einem Haschen nach etwas Para-

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 435. Poggendorff's Ann. XII. 316.

doxen entstanden sey, oder welche Bewandtnifs es sonst mit dem beobachteten Phänomene haben mag; gewifs dagegen ist, dafs die Maschine bei der ersten Beobachtung unmöglich im Gange bleiben konnte, wenn die gesammte eingeschlossene Wassermasse in mehr als $\frac{1}{16}$ Zoll Abstand vom heifsen Metalle gehalten wurde und demgemäfs so langsam verdampfte, als dieses beim Leidenfrost'schen Versuche geschieht; denn alsdann konnte die Menge des gebildeten Dampfes unmöglich genügen, und aufserdem kann sich ein jeder leicht überzeugen, dafs die Wassertropfen, selbst ohne allen äufsern Druck, sofort durch ein Loch von nur $\frac{1}{12}$ Zoll Durchmesser in einem nahe weifsglühenden Platinbleche fallen, sobald sie klein genug sind und die gröfseren Tropfen nicht durch die Adhäsion ihrer Theilchen an einander hieran gehindert werden. Endlich zeigen directe Versuche, welche Buff[1] zur Prüfung jener Erzählung anstellte, dafs der Dampf auch ohne erheblich stärkeren Druck, als den atmosphärischen, ungehindert durch das Zündloch eines glühenden Flintenlaufs dringt. Derselbe fand ferner, dafs mit Indigo gefärbtes Wasser sich wie reines Wasser verhält; auch sollen rauhe Oberflächen eine gleiche Wirkung äufsern, als polirte, wenn nur die Masse gut leitet, was jedoch mit meinen Versuchen nicht übereinstimmt, wonach Eisen, wenn es einige Zeit weifsglühend gewesen und dadurch rauh geworden ist, in diesem Zustande des stärksten Weifsglühens die Erscheinung nicht zeigt. Nach Buff gelingt der Versuch ebenso gut mit Weingeist, als mit Wasser, desgleichen mit Ammoniaklösung und Salzsäure, mit Schwefelsäure aber schlecht, indem diese zwar anfangs rotirt, bald aber sich an einer Stelle festsetzt und schnell verdampft, was jedoch nach Fischer's Angabe (§. 273) nicht wohl der Fall seyn kann, da dieser eine langsame Zersetzung derselben wahrnahm. Döbereiner[2] hat die Summe der bekannten Thatsachen um einen interessanten Theil vermehrt, indem er auffand, dafs sich die Tropfen in Platintiegeln bis zur Dicke einer Wallnufs vergröfsern lassen, Pouillet[3] aber, welcher bei seinen Verdampfungsversuchen gelegentlich diese Erscheinung wahrnahm, konnte einen grofsen

---

1 Poggendorff's Ann. XXV. 591.

2 Schweigger's Journ. Th. XXIX. S. 43. G. LXXII. 211.

3 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 5. Poggendorff's Ann. XI. 447.

rothglühend gemachten Platintiegel bis zur Hälfte mit Wasser anfüllen und dieses Wasser eine Viertelstunde darin erhalten, ohne dafs es eine Bewegung oder eine merkliche Abnahme zeigte. In solchem Falle nimmt zwar das Wasser die Form der Gefäfse ungefähr an, berührt aber die Seitenwandungen nicht innig, und zeigt ein Bestreben, in die Kugelform überzugehn. Waren im Wasser Körper gelöst, hauptsächlich Kali und Kalisalze, so verlor es die angegebene Eigenschaft, auch durch Tinte oder Kohlenstaub geschwärztes verdampfte schnell. Pouillet scheint geneigt, nach Rumford's Ansicht die Ursache darein zu setzen, dafs die Wärmestrahlen durch das transparente Wasser dringen, ohne diesem mitgetheilt und zur Verdampfung verwandt zu werden. Böttger[1] will wahrgenommen haben, dafs die Tropfen gewisse regelmäfsige, sehr zusammengesetzte Gestalten annehmen, die mit ihrer Gröfse wechseln. Allerdings sind sie oft auf eine merkwürdige Weise gekräuselt, eine stets wiederkehrende bestimmte Regelmäfsigkeit ihrer Gestaltung bleibt aber zweifelhaft. Nach Döbereiner zeigt sich dieses Phänomen nicht blofs beim Wasser, sondern auch bei andern Flüssigkeiten, als Weingeist, Aether, ätherischen Oelen und Quecksilber; die Ursache desselben liegt aber in dem Mangel der Adhäsion der Flüssigkeiten an die Metalle und der steten Rotation der Tropfen, in deren Folge sie nur in kurz dauernde Berührung mit dem erhitzten Metalle kommen.

273) Hauptsächlich um die von Perkins aufgestellte Behauptung zu prüfen, nach welcher jedoch die vermeintliche Repulsion nicht blofs von den Rändern der Oeffnung oder des Risses im Generator ausgehn könnte, sondern nothwendig dem heifsen Metalle überhaupt eigen seyn müfste, wenn wir anders nicht unnatürlichen Voraussetzungen Raum geben, vielmehr das Phänomen überhaupt aus der angegebenen Erfahrung erklären wollen, stellte ich selbst im Beiseyn meines Collegen L. Gmelin und des Dr. Arneth einige etwas schwierigere Versuche an. Ganz eben geschliffene dicke Platten von Eisen und Messing wurden über einer Kohlenpfanne bis zur Weifsglühhitze gebracht, mittelst einer Glasstange oder eines Pfeifenrohrs ein

---

1 Eine Sammlung eigener Erfahrungen, Versuche und Beobachtungen. Fr. 1838. N. XVIII.

starker Tropfen über ihr festgehalten, da es unmöglich war, die vollkommene Horizontalität der Platten zu erreichen, und während ein Pappschirm das Auge gegen die unerträgliche Hitze schützte, gewahrte man deutlich, dafs kein Lichtstreifen zwischen Platte und Tropfen durchging; es findet daher zwar keine Adhäsion zwischen beiden statt, allein auch kein mefsbarer Abstand. Gelegentlich wurde auch die Ursache des Rotirens der Tropfen aufgefunden, welche in der ungleich starken Anziehung und auch Wärmestrahlung der nicht überall völlig gleichmäfsigen Platte oder Schale liegt, wie sich deutlich zeigte, als zerschnittene Stückchen einer Stecknadel in ein glühend gemachtes silbernes Schälchen geworfen worden waren und als ein Fleck auf der inneren Fläche des Schälchens durch Zutritt eines heterogenen Körpers schwarz geworden war, beide Ursachen aber durch ungleiche Strahlung die Bewegungen des Tropfens bedeutend vermehrten. Dafs übrigens die Rotation der Tropfen nicht die Ursache ihres langsamen Verdampfens überhaupt sey, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man überlegt, dafs in den erstgenannten Versuchen der Tropfen an einer Glasröhre oder einem thönernen Pfeifenrohre zur Vermeidung des Herabrollens festgehalten wurde, mithin nicht rotiren konnte; ja man kann beim gewöhnlichen Versuche ein Holzstäbchen oder einen Draht durch den Tropfen auf die Metallfläche stützen, ohne einen andern Einflufs, als welchen die hierdurch bewirkte Erhitzung des untern Endes hervorbringt, zu gewahren; endlich streitet diese Annahme gegen Pouillet's Beobachtung. Es ergab sich aus meinen Versuchen ferner, dafs die von Perkins angenommene Repulsion sehr heifser Metalle nicht als Ursache der Erscheinung gelten kann, denn kleine Tropfen fielen sogar durch ein 0,8 Lin. weites Loch in einer 11 Lin. dicken Eisenplatte sowohl bei geringerer Hitze, als auch wenn diese bis nahe zum Weifsglühen stieg; merkwürdig aber war, dafs eben diese Platte im Zustande des stärksten Weifsglühens, in dessen Folge ihre Oberfläche durch eine Oxydschicht rauh geworden war, das Phänomen gar nicht zeigte, sondern das Wasser gleich schnell als glühende Kohlen verdampfen machte. Noch mufs erwähnt werden, dafs Fette, sowohl animalische als auch vegetabilische, die Erscheinung nicht zeigen, vielmehr werden sie im Verhältnifs der stärkeren Hitze schneller verdickt und verkohlt. Einige Vermehrung der bekannten

Thatsachen ist durch die Versuche hinzugekommen, welche N. W. Fischer[1] anstellte, indem er namentlich fand, dafs bei der Anwendung von Weingeist statt des Wassers sich sogleich ein Geruch nach Lampensäure zeigt und dafs Aether einen scharfen, die Respirationswerkzeuge und Augen stark angreifenden Dampf erzeugt. Auch Terpentinöl und Steinöl entwickeln Dämpfe, deren Geruch von dem dieser Flüssigkeiten ganz verschieden ist, concentrirte Schwefelsäure aber entwickelt dicke bläuliche Dämpfe, welche nicht zum Husten reizen, weswegen eine Zersetzung derselben in Sauerstoff und ein Schwefeloxyd statt finden soll; Quecksilberkügelchen endlich verdampfen, wenn die Hitze stark genug ist, oder amalgamiren sich mit dem Metalle. Hieraus folgert Fischer, dafs die starke Hitze nicht zur Verdampfung, sondern zur Zersetzung der Flüssigkeiten verwandt werde, wozu es deren viel bedürfe, so dafs hierhin die Ursache des langsamen Processes zu suchen sey. Bei der Anwendung von Weingeist nimmt man allerdings den angegebenen scharfen Geruch wahr, doch entzündet sich derselbe leicht, und mit Schwefeläther wollte mir der Versuch eben aus dieser Ursache nie gelingen. Inzwischen bleibt zweifelhaft, ob eine unmittelbare Zersetzung des Weingeistes statt finde und nicht vielmehr die von diesem allerdings, ebenso wie vom Wasser, aufsteigenden Dämpfe in der grofsen Hitze der Umgebung eine Zersetzung erleiden, im Ganzen aber ist die hieraus entnommene Erklärung nicht vollkommen befriedigend, weil sie den Grund nicht enthält, weswegen die Adhäsion der Tropfen zum Metalle aufgehoben wird. Zudem fand Döbereiner durch directe Versuche, dafs das Wasser nicht in seine Bestandtheile zerlegt wird, was zwar Fischer zu widerlegen sucht, allein es dürfte doch im Ganzen wahrscheinlich seyn, dafs bei Weingeist, Aether und den flüchtigen Oelen blofs die Dämpfe zersetzt werden, wie dieses durch sehr heifse Metalle nach Davy's Entdeckung sehr leicht geschieht; beim Wasser kann dieses aber der Fall nicht seyn, weil hierzu ein den Sauerstoff aufnehmender Körper erfordert wird, eher bei der Schwefelsäure, deren Verdampfung erst in sehr starker Hitze erfolgt.

274) Die *Hitze* des Tropfens fand Rumford dadurch, dafs

1 Poggendorff's Ann. XIX. 514. XXI. 163.

er denselben aus dem Löffel in die Hand fallen liefs, zwar merklich, aber nicht so stark, dafs die Haut dadurch verbrannt wurde; eben dieses giebt ERDMANN[1] als durch das Gefühl erhalten an, und dafs er die Siedehitze nicht habe, geht klar hervor, denn man kann einen Theil desselben durch Berührung mit dem Finger herausnehmen, wenn die Hitze des Feuers und des glühenden Metalls dieses nicht hindert. DÖBEREINER dagegen will mit einem feinen Thermometer 99° bis 101° C. gemessen haben, was jedoch eine unsichere Art des Messens ist, weil der nicht eingetauchte Theil des Thermometers und die Kugel desselben vor dem Eintauchen durch die Strahlung des glühenden Metalls zu sehr afficirt wird. Genauer scheint mir die Angabe FISCHER's zu seyn, wonach die Wärme der Tropfen von 70° bis 100° C. wechselt, je nachdem dieselbe im Anfange des Versuches, nachdem der Tropfen eben hineingebracht worden ist, oder gegen das Ende unmittelbar vor dem Momente untersucht wird, wo er die Kugelgestalt verliert, dem Metall adhärirt und schnell verdunstet, was alsdann geschieht, wenn sich im wiederholt durch neu hinzugesetzte Flüssigkeit vermehrten Tropfen einige Substanzen, vielleicht auch von der Oberfläche des Metalls, absetzen und er trübe wird. Auf jeden Fall kann der Tropfen nicht füglich Siedehitze erhalten, weil sonst ein eigentliches Aufwallen statt finden müfste; ob aber das Kräuseln desselben von aufsteigenden Dämpfen herrühre, ist wohl noch nicht genügend ausgemittelt worden. Auch LECHEVALLIER[2] und DULONG[3] haben, durch die Angabe von PERKINS veranlafst, die Versuche wiederholt und scheinen den Ansichten desselben beizutreten. Ersterer verschlofs aber den Platinbecher mit dem Wassertropfen durch einen genau passenden Deckel, und glaubte beim Oeffnen desselben nach einiger Zeit keine Spannung des Dampfes zu bemerken. BEAUDRIMONT[4], dem diese Resultate nicht genügten, wiederholte die Versuche, und mafs dabei die Hitze der Tropfen durch

---

1 Journ. für praktische Chemie. Th. X. S. 334.

2 Journ. de Chim. médicale 1830. Sept. p. 540. Journ. de Pharmac. 1830. N. XI. T. XVI. p. 666.

3 Ebend. 1830. Nov. Vergl. Geiger's Ann. der Pharmacie. Th. II. S. 220.

4 Ann. de Chim. et Phys. T. LXI. p. 319.

Mischung derselben mit Wasser, indem er die durch sie bewirkte Erhöhung der Temperatur der gesammten Wassermasse nach den bekannten Gesetzen der Mischungen hierzu benutzte, wodurch er ihre Temperatur zwischen 36°,48 und 50°,61 fand. Abgesehn davon, daſs dieses Mittel sehr unsicher ist, da die Wassermenge der Tropfen nicht groſs ist und die Bestimmung ihrer Gröſse vielen Schwierigkeiten unterliegt, gewährt auch die von ihm angewandte Formel keine hinlängliche Genauigkeit, indem er $T = t \frac{M}{m}$ setzt, worin M und m die Massen des Wassers, t den Unterschied ihrer Temperaturen und T die gefundene Temperatur bezeichnen. Berichtigt würden die gefundenen Temperaturen 48°,78, 62°,5 und 63°,61 C. betragen, was der Wahrheit schon näher kommen dürfte. Auſserdem fand er, daſs gleich groſse Tropfen von 3′ 7″ bis 1′ 6″ Zeit bedurften, um völlig zu verdunsten, wenn die Hitze von der geringsten, wobei das Phänomen eintritt, bis zur stärksten Glühhitze stieg; auch überzeugte er sich, daſs allerdings Dampf gebildet wird, dessen Spannung mit der Hitze zunimmt. Seiner Ansicht nach, die sich auf Versuche mit Wasser und anderen Flüssigkeiten gründet, liegt die Ursache des Phänomens darin, daſs die zugeführte Wärme durch die Verdunstung absorbirt werde und daher das Wasser nicht zum Sieden bringe, als ob beim Sieden nicht ebenso, wie beim Verdunsten, Wasserdampf gebildet würde. Boutigny[1] gewahrte die angegebene Erscheinung bei Wasser, es glückte ihm aber auch, rotirende Tropfen von Schwefeläther, Terpentinessenz und Citronenessenz, ja sogar von schwefliger Säure (*acide sulphureux anhydre*) zu erhalten, welche in die Hand geschüttet das Gefühl von Kälte erzeugten. Der Versuch läſst sich nach Beaudrimont nicht bloſs mit Metallen, sondern auch mit andern Körpern anstellen, die man in starke Glühhitze versetzen kann. Die Wärme der Wassertropfen ist auch durch Laurent[2] mittelst eines Thermometers gemessen und nicht unter 95°, genauer aber 99° C. gefunden worden; allein es ist schon bemerkt worden, daſs der Einfluſs des erhitzten Metalles auf das Ther-

1 Journ. de Pharmacie 1840. Mai. London and Edinb. Phil. Mag. N. CIX. p. 230. Poggendorff's Ann. LI. 130.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXIV. p. 327.

mometer hierbei nicht zu vermeiden steht, und eine so hohe Temperatur kann der Tropfen nicht haben, weil man ihn sonst nicht ohne Nachtheil in die Hand ausschütten und noch weniger mit der Fingerspitze so berühren könnte, daſs ein groſser Theil desselben daran hängen bleibt. Eine der am meisten gangbaren Hypothesen zur Erklärung dieses Phänomens ist die, welche unter Andern auch Frei[1] vertheidigt. Hiernach soll Dampf von gröſserer Elasticität, eben durch die verstärkte Hitze erzeugt, sich zwischen der Metallfläche und dem Tropfen befinden, diesen daher schwebend erhalten, seine Berührung mit der Fläche hindern und durch seine Erzeugung die gröſsere Hitze binden. Hiergegen erklärt sich Fechner[2], weil ein mit Tinte oder Kohlenstaub gefärbter Tropfen die Erscheinung nicht zeigt. Auch ohne dieses Argument muſs man die Gesetze der Dampfbildung ganz unberücksichtigt lassen, wenn man diese Hypothese zu vertheidigen beabsichtigt. Zuvörderst ist die Bildung von elastischerem Dampfe, als welcher der Siedehitze zugehört, ohne vorhandenen stärkeren Druck der Natur der Sache nach ganz unmöglich, denn wenn derselbe auch unter stärkerem Drucke erzeugt worden ist, so geht er beim Eintritt in die freie Luft sofort zur Elasticität der Siedehitze und durch augenblickliche Abkühlung selbst zu einer noch geringeren über. Man müſste hierbei ganz vergessen, daſs man mittelst des Thermometers die dem jederzeitigen Luftdruck proportionale Elasticität des Wasserdampfes sogar mit ziemlicher Genauigkeit zu messen vermag. Hiervon abgesehn gehört dem heiſseren Dampfe zugleich nothwendig eine gröſsere Dichtigkeit zu, seine Bildung erfordert daher eine gröſsere Wassermenge, und der Tropfen müſste daher ganz im Gegentheil schneller verzehrt werden, wie denn bekanntlich die bei den Dampfmaschinen erforderliche und stets verbrauchte Wassermenge, unter übrigens gleichen Bedingungen, der Dichtigkeit des erzeugten Dampfes proportional ist.

275) Ueberblicken wir die hier zusammengestellten Thatsachen[3] und suchen wir sie mit den sonstigen Naturerschei-

---

1 Kastner's Archiv. Th. IV. S. 57.

2 Dessen Repertorium Th. II. p. 401. Uebers. von Biot's Physik. Th. V. S. 367.

3 Als eine, hier zu weit führende Nachlese ist das zu betrach-

nungen in Einklang zu bringen, so gelangen wir zu folgendem Resultate. Mit der gröfseren Hitze hört die Adhäsion der Flüssigkeiten zu den Metallen so weit auf, dafs die Adhäsion der Theilchen dieser Flüssigkeiten unter sich auf gleiche Weise überwiegend wird, als bei solchen, die auf festen Körpern nicht zerfliefsen, sie nicht benetzen und mehr oder weniger vollkommen runde Tropfen bilden, deren Rotation durch ungleiche Anziehung einzelner Theilchen der Oberfläche auf gleiche Weise, als bei vielen andern Phänomenen, namentlich den kleinen Kampherstückchen auf Wasser[1], nothwendig bedingt wird. Erhöhung der Temperatur vermindert überhaupt die Adhäsion der Flüssigkeiten zu festen Körpern[2], wie auch aus der bekannten Erscheinung hervorgeht, dafs ein Wassertropfen sich an einem Drahte, der Schwere entgegen, aufwärts bewegt, wenn man das untere Ende erhitzt; eine starke Erwärmung des Metalls kann also die Adhäsion leicht so weit vermindern, dafs das Benetztwerden auf gleiche Weise aufhört, als dieses bei manchen Flüssigkeiten gegen gewisse feste Körper auch in niedrigerer Temperatur statt findet[3]. Hierbei tritt dann, wie auch anderweitig, z. B. bei Quecksilber auf Glas, der Fall ist, keine eigentliche Entfernung der Tropfen von den Metallflächen ein, so dafs das Licht zwischen beiden durchgehn könnte, was jedoch von selbst daraus folgt, dafs die Adhäsion nur in unmefsbare Entfernung wirkt; inzwischen findet doch keine eigentliche Berührung, vielmehr nur eine Annäherung der Tropfen zu den Metallen statt, die sich ohnehin nur auf eine desto kleinere Fläche erstreckt, je mehr die Oberfläche des Tropfens sich der Kugelform, die des Metalles aber der geraden Ebene nähert. Bei rauhen Oberflächen, z. B. irdenen, bereits stark oxydirten metallenen u. s. w., ist die Summe der verschwindend kleinen Berührungsflächen zu grofs, als dafs die Adhäsion genügend vermindert werden könnte, um die Erscheinung hervorzubringen, abgesehn davon, dafs die Blänke der Oberfläche noch anderweitig bedingend mitwirkt. Bis soweit hat namentlich Döbereiner die Ursache der Erscheinung

---

ten, was M. L. Frankenheim in: Die Lehre von der Cohäsion u. s. w. Breslau 1835. S. 124 ff. hierüber sagt.

1 S. Art. *Adhäsion*. Bd. I. S. 203.

2 Ebendaselbst. S. 180.

3 Ueber eigentliche Repulsion der Wärme vergl. §. 471.

sehr richtig aufgefafst; auch haben Buff und hauptsächlich Pouillet den wichtigen Umstand der aufgehobenen Adhäsion und Letzterer den Einflufs der Diathermanie sehr sachgemäfs hervorgehoben, wobei ich noch den Umstand erwähnen will, dafs bei jedem Einbringen eines neuen Tropfens ein kurz vorübergehendes Zischen gehört wird, wahrscheinlich in Folge der durch die mechanische Gewalt verstärkten momentanen Berührung, wie man das Zischen auf gleiche Weise bemerkt, wenn man mit einem nassen Finger über das erhitzte Metall hinfährt, ein neuer Beweis gegen die Zulässigkeit der von Perkins angenommenen übergrofsen Repulsion. Ist dann einmal die Adhäsion zwischen der Metallfläche und der Flüssigkeit aufgehoben, so fällt damit der eigentliche Wärmeübergang aus ersterer in letztere von selbst weg, es findet blofs Strahlung statt und es tritt eine der oben (§. 231) erwähnten ähnliche Erscheinung ein, wonach die blanke Seite eines nach Leslie's Angabe construirten Würfels dem in einigem Abstande befindlichen Finger nur unmerklich wenig Wärme zusendet, bei unmittelbarer Berührung aber sehr heifs zu seyn scheint. Unter diesen sämmtlichen vereint wirkenden Bedingungen kann die in den Tropfen übergehende Wärme, der vorhandenen Glühhitze ungeachtet, nicht bedeutend grofs seyn. Zuerst strahlt die Fläche, insbesondere wenn sie blank ist, nur wenig Wärme aus, da sie in Berührung mit sehr verdünnter, mit etwas vom auffallenden Tropfen gebildetem Dampfe vermengter Luft ist, die nicht durch neu hinzutretende ersetzt werden und daher die Strahlung nicht vermehren kann, sofern die Fläche der Platte und die Gröfse des Gefäfses die aufwärts steigende und seitwärts zuströmende Luft abhält. Zweitens hindert die blanke Oberfläche des Tropfens die Aufnahme der strahlenden Wärme, die wenige aufgenommene wird aber zur Bildung von Dampf verwandt, und da die hierfür erforderliche Menge sehr grofs ist, so steigt die Hitze des Tropfens nicht bedeutend. Drittens ist das Wasser nach Melloni ein sehr diathermaner Körper, nicht alle aufgenommene Wärme bleibt in der Flüssigkeit, sondern ein grofser Theil geht hindurch, und zwar ein desto gröfserer, je mehr die anfängliche dunkle Wärme zur sogenannten leuchtenden wird. Alle diese vereinten Bedingungen genügen sicher zur vollständigen Erklärung der Phänomene, ohne zu anderweitigen künstlichen, mit

bekannten Naturgesetzen im Widerspruch stehenden Hypothesen seine Zuflucht zu nehmen.

276) Die *Unverbrennlichkeit des menschlichen Körpers ist*, wie mich die Vergleichung der darüber vorhandenen Nachrichten mit eigenen Erfahrungen gelehrt hat, eine Erscheinung, die zuweilen einige Aufmerksamkeit erregt und dann wieder in Vergessenheit geräth, ohne durch hinlänglich umfassende und genügend gründliche Untersuchungen zur definitiven Entscheidung gebracht zu werden. Ist einmal die Rede davon, so kann man nicht umhin, sich der *Ordalien* zu erinnern, wovon sich eine der ältesten Spuren beim Sophokles[1] findet, wo sich der Bote zur Feuerprobe erbietet, um die Wahrheit seiner Aussage darzuthun. Ueber ihre Anwendung im Mittelalter ausführlich zu handeln ist hier der Ort nicht; auch kenne ich das Geschichtliche der Sache zu wenig, als dafs ich mir anmafsen dürfte, über die Einzelnheiten ein genügendes Urtheil zu fällen, namentlich über die dabei statt gefundene Verfahrungsweise, um darüber zu entscheiden, ob wirklich in einzelnen Fällen Menschen auf glühendes Eisen traten, ohne sich merklich zu verletzen. So viel scheint mir jedoch sicher, dafs die Verurtheilten vorher durch eigens beauftragte Geistliche vorbereitet wurden, bis die Probe mit gewissen Feierlichkeiten und in Anwesenheit mehrerer Personen erfolgte, worauf dann die der Feuerprobe ausgesetzten Glieder eingewickelt und demnächst untersucht wurden, um die Beschädigung oder die Unverletztheit derselben auszumitteln. Beachtenswerth scheint mir dabei zu seyn, dafs man nur glühendes Eisen anwandte, dafs aber die Procedur in Anwesenheit vieler Personen, worunter sich auch Laienbrüder befanden, vor sich ging, weswegen das Ganze nicht füglich als ein zum Schein angestelltes betrügliches Theaterspiel zu betrachten scheint, wenn gleich eine wissenschaftlich begründete Beurtheilung der Sache selbst aus Mangel an hinlänglich genauer und völlig zuversichtlicher Beschreibung des Thatbestandes stets unmöglich bleiben wird. Als die Ordalien längst abgekommen waren, liefsen sich von Zeit zu Zeit Künstler sehen, welche heifse Körper, namentlich glühendes Eisen, berührten, ohne ihre Haut wesentlich zu verletzen, wobei sie meistens mährchenhafte Erzählungen über die

1 Antigone v. 365.

zufälligen Ereignisse auftischten, wodurch diese ihre sogenannte Unverbrennlichkeit entdeckt worden seyn sollte. Uebergehn wir einige ältere Nachrichten [1] und auch das, was Leibnitz [2] berichtet, wonach das Ganze nur Täuschung seyn oder das Verbrennen durch die vorhandene Feuchtigkeit gehindert werden soll, so verdienen vorzüglich die im Anfange dieses Jahrhunderts an verschiedenen Orten gemachten Beobachtungen eine nähere Berücksichtigung. Die Gelegenheit dazu gab ein gewisser hagerer Mann mit tiefliegenden Augen und schwarzen krausen Haaren, welcher zu Toledo geboren seyn wollte, sich in Italien Lionetto, in Deutschland Roger nannte [3] und seine Kunststücke in Frankreich, Italien und Deutschland zeigte, dann bis Rufsland reisete, aber einigen mir zugekommenen Nachrichten nach sich in Petersburg bedeutend verbrannt haben soll, und von dem später nicht mehr die Rede war. Dafs seine Leistungen nicht auf Augentäuschungen beruhten, wie ein gewisser Dr. Müller [4] zu Bremen in einer über ihn veröffentlichten Broschüre behauptete, beweist die nachfolgende Erzählung glaubhafter Augenzeugen.

Der genannte Spanier zeigte seine, in den Tageblättern sehr übertriebenen Kunststücke, wenn wir uns auf das in wissenschaftlichen Zeitschriften bekannt Gewordene beschränken, zuerst 1803 in der *École de Médecine* zu Paris, wo einige Aerzte sie prüften und dem Institute Bericht darüber erstatteten [5]. Der Künstler scheint damals noch nicht so viel gewagt oder seine Haut noch nicht den höhern Grad der Unverbrennlichkeit erreicht zu haben, denn das Auffallende seiner Kunst-

---

1 Z. B. Journ. des Savans 1677. p. 54 u. 222. 1680. p. 292.

2 Acta Erud. Lips. Vergl. Wiegleb Magie. Th. XVIII. S. 84. Nach Leibnitz darf man es nur wagen, sich brennendes Siegellack auf die Zunge zu tröpfeln, so kann dieses ohne Nachtheil geschehn. Ich habe mir einen Theil der Hand mit Speichel so stark wie möglich benetzt, aber dennoch erzeugte der Siegellacktropfen, den ich im Fallen ausblies, eine starke, später eiternde Blase.

3 Die Identität der Person kann ich des doppelten Namens ungeachtet wegen der genauen Uebereinstimmung seiner Kunststücke nicht bezweifeln.

4 Der Unverbrennliche, oder wie macht es Herr Roger, um gegen das Feuer gesichert zu seyn? Bremen 1807.

5 S. französische Annalen von C. H. Pfaff u. Friedländer. Jahrg. 1803. Bd. III. S. 149. Vergl. Journ. de Phys. T. LVII. p. 66.

stücke wächst später bedeutend. In Paris berührte er mit der Ferse ein Pfund bis 106°,25 C. erhitztes Oel, tauchte seine Hand schnell in dasselbe und rieb sich zuletzt das Gesicht damit, als es nach dem Thermometer noch 94° Wärme hatte, seine Hand aber sogleich nachher 41°,25 zeigte. Es wurde eine kirschroth glühende eiserne Stange auf den Boden gelegt, über welche er mit der Fuſssohle hin und her fuhr, so daſs es rauchte und das Oel an einigen Stellen sich entzündete; etwas entstandenes Versengen leitete er von kleinen, auf dem Eisen hängen gebliebenen Schlackenstückchen ab. Hierauf bestrich er seine mit Schleim stark überzogene Zunge mit dem rothglühenden Ende eines eisernen Spatels, ohne sich zu versengen oder Inflammation zu bewirken; auch hatte sein Geschmack nicht merklich gelitten, denn man gab ihm nachher etwas Salpeter, Schwefelsäure und eine alkalische Lösung zu kosten, welche er genügend unterschied. Endlich fuhr er langsam mit einem brennenden Lichte unter seinem Arme und Schenkel hin und her, ohne sich zu verbrennen.

Dieser nämliche Spanier zeigte demnächst unter dem Namen Signor Lionetto seine Kunststücke zu Neapel, wo Sementini[1] die Sache näher untersuchte, zu München, wo Gehlen[2] alle Umstände genau beachtete, und zu Hannover, wo ich mich mit dem Oberbergrath Gruner und dem Medicinalrath Mühry zur Prüfung der einzelnen Thatsachen vereinigte. Um nicht die nämlichen Sachen zu wiederholen, werde ich die Angaben dieser drei Autoritäten zusammenstellen und sie nach der Reihe durch die Buchstaben S, G, M bezeichnen. Roger berührte mit der Fläche einer dünnen rothglühenden Ofenschaufel die Haare seines Kopfes (S, M), wobei keine Beschädigung erfolgte, doch stieg ein beträchtlich dichter Dunst auf (S). Hiernächst strich er mit dem Rande der wieder glühend gemachten Ofenschaufel mehrmals über seine nackten Arme und Schenkel, ohne daſs selbst die darauf sitzenden Haare versengt wurden (S, M), ungeachtet sehr kleine Partikelchen Phosphor dabei verbrannten, da er sich vorher mit ei-

---

1 Tilloch's Philos. Mag. N. 125. Bibl. Brit. 1809. N. 328. p. 383.

2 Schweigger's Journ. Th. III. S. 404. Gehlen will die Angaben Sementini's bloſs ergänzen.

ner Phosphorstange gerieben hatte (M). Hierauf berührte er wiederholt die Fersen mit glühendem Eisen, wobei die Berührung anhaltender war (S, M) und im Augenblicke, als' der Fuſs an das Eisen kam, sich ein dem Auge und der Nase wahrnehmbarer Dunst entwickelte (S). Demnächst nahm er zwischen seine schwarzen und schadhaften Zähne ein Eisen, welches ihn hätte verletzen können, obgleich es nicht glühend war (S). Dieses Probestück sah ich von Roger nicht, dagegen aber wurde es von einem Frauenzimmer, die sich für eine Americanerin aus einem wilden Stamme ausgab, vermuthlich aber seine ihm nachreisende Frau war, auf eine unerklärbar merkwürdige Weise zu Marburg gemacht. Ihre übrigen Kunststücke kamen denen des Mannes keineswegs gleich, allein sie nahm zwischen ihre starken und gesunden, wenn gleich nicht schönen, vielmehr sehr gelben Vorderzähne das umgebogene glühende Ende eines Ofenhakens, womit man die Kohlen im Ofen aufzurühren und den Rost zu säubern pflegt, und trug diesen frei herabhängend, die Hände auf dem Rücken liegend, vor dem Halbkreise der Zuschauer herum, dessen Länge sicher 40 Fuſs betrug. Roger strich ferner mehrmals mit einem glühenden Ofenhaken nicht eben schnell über seine lang ausgestreckte, mit dickem weiſsem Schleim belegte Zunge (S, G, M), wobei er mir absichtlich, weil er bemerkt hatte, daſs ich mit meinen Freunden seine Kunststücke controlirte, so nahe kam, daſs ich, obgleich ungern, mein Gesicht der strahlenden Hitze wegen zurückbeugen muſste. Als sein stärkstes Kunststück, welches dem erwähnten Halten des Hakens zwischen den Zähnen wohl gleich kommen dürfte, betrachte ich folgendes. Nach Gehlen stampfte er schnell mit der Fuſssohle, die durch Anziehung der Muskeln hohl gemacht war, auf eine 2 bis 2,5 Z. breite und einen starken halben Z. dicke glühende eiserne Stange in der Quere, und weigerte sich, der Länge nach aufzutreten; ich sah aber dieses Kunststück auf folgende Weise. Eine etwa 4 F. lange, 2,5 Z. breite und 0,3 Z. dicke eiserne Schiene war in der Mitte auf etwa 1 Fuſs lang glühend gemacht; diese nahm er am einen Ende in die Hand, stampfte sie mit dem andern auf den Fuſsboden, daſs die Schlacken abfielen, trat dann mit der linken Ferse dagegen, daſs sie bedeutend krumm wurde, drehte sie schnell um und bog sie durch Auftreten mit derselben Ferse wieder gerade, legte sie dann schnell flach auf den Fuſsboden, stellte

sich mit dem hintern Theile der rechten Ferse darauf und drehte sich schnell in einem ganzen Kreise herum. Obgleich der Fuſsboden vorher durch aufgegossenes Wasser stark genäſst war und Roger die Schiene sofort wieder aufnahm, der ganze Versuch überhaupt sehr schnell gemacht wurde, so hatte das Eisen doch in der Mitte fast eine Linie tief in den Fuſsboden eingebrannt. Es verbreitete sich sogleich ein sehr kenntlicher Geruch nach verbranntem Horn und wir untersuchten daher sofort seine Fuſssohle; diese war schwarz vom Eisen, nichts weniger als callös und heiſs, vielmehr weich und kalt, und erregte beim Anfühlen eine Empfindung, als wenn man den Bauch eines Frosches berührt. Demnächst trank er etwa einen halben Löffel voll heiſses Oel, indem er diese Flüssigkeit hinten auf die Zunge brachte (S, G, M); vorher aber lieſs er, um dessen Hitze zu zeigen, einen sogenannten zinnenen (Zinnblei) Eſslöffel durch Eintauchen darin schmelzen (S, M), oder er sorgte dafür, daſs durch allerlei Manöver einige Abkühlung eintrat (G), auch wusch er sich mit den in das Oel getauchten Fingern die Augenbrauen, wobei im Momente der Berührung ein Zischen, wie vom verdampfenden Wasser, gehört wurde (M). Endlich schmolz er Zinnblei in einem eisernen Löffel, im Ganzen wohl 6 ℔, und berührte die geschmolzene Masse einige Male, aber sehr schnell, mit der Fuſssohle, indem er einen Theil der flüssigen Masse aus dem Löffel herausschleuderte (S, G, M). Eben dieses Kunststück machte die Frau in Marburg und zeigte hierbei die nämliche Behutsamkeit, ja sie goſs die geschmolzene Masse auf den Fuſsboden, drehte oder stieſs sie vielmehr nech dem Gestehen einige Male hin und her, um hierdurch gröſsere Abkühlung zu erzielen, faſste sie dann am dünnsten Theile mit zwei Fingern an und trug sie vor den Zuschauern herum. Als ein allerdings sehr auffallendes Kunststück sah Gehlen, daſs er eine Stange Phosphor, ungefähr 0,5 Zoll lang, zwischen drei Fingerspitzen verbrennen lieſs, bis sie von selbst erlosch.

277) Man hat sich viele Mühe gegeben, diese Thatsachen zu erklären. Einige wollten alles auf eine erhöhete Abstraction oder Willensthätigkeit zurückführen, wodurch Unempfindlichkeit gegen Schmerz erzeugt worden seyn soll, allein es kommt hierbei wohl gar nicht auf das Ertragen des Schmerzes an, wozu sich Menschen oft aus verschiedenen Ursachen verstehn, sondern

vielmehr, wie Gehlen richtig bemerkt, auf die nicht statt findende Zerstörung der gewifs zerstörbaren animalischen Theile. In dieser Beziehung mufs ich bemerken, dafs die Frau, die ich in Marburg sah, um mehr aufzufallen überhaupt phantastisch angezogen und nur mit einem bis auf die Waden herabreichenden kurzen Rocke bekleidet war, dafs sie um ihre nackten Füfse aber ein schmales grünseidenes Band, als wenn sie Sandalen trüge, geschlungen und diese kreuzweise Umschlingung bis an die Waden fortgeführt hatte, wo die Enden festgebunden waren. Wollaston[1] bemerkt, dafs einer seiner Freunde oft über seine Zunge ein glühendes Eisen weggeführt und er selbst dieses nachgemacht habe, ohne weitere Unbequemlichkeit, als einen Geschmack nach Kohlenwasserstoff; man müsse zu diesem Ende nur Sorge tragen, dafs die Zunge hinlänglich benetzt sey und man das Eisen leicht und gewandt darüber wegführe. Das bei jedem Herüberführen wahrnehmbare Zischen finde ich von den übrigen Beobachtern nicht erwähnt, ich habe es aber deutlich wahrgenommen und es erleichtert die Erklärung, weil die Hitze des Eisens zur Verdampfung des Speichels verwandt wird. Tilloch setzt hinzu, dafs ein Bleigiefser in seiner Gegenwart seine Zunge mit einem glühenden Eisen strich, dabei aber bemerkte, dasselbe müsse ganz rothglühend seyn, weil man sich sonst verbrenne. Derselbe Arbeiter tauchte seinen Finger in geschmolzenes Schnellloth, mit der Bemerkung, der Finger müsse dabei ganz trocken seyn, weil sonst etwas Metall sich anhänge und eine Blase ziehe. Derselbe hörte ferner von einem Freunde, dafs dieser auf einer Schmelzhütte einen Arbeiter gesehn habe, welcher das geschmolzene Eisen mit der Hand abschäumte, ohne sich zu verbrennen; aber dieses konnte nur dann geschehn, wenn das Eisen noch im Aufwallen war, bei minderer Hitze verbrannte er sich. Lichtenberg erzählte in seinen Vorlesungen bei der Wärmelehre, er habe einen Arbeiter in einer Kupferschmelzhütte gesehn, welcher von dem geschmolzenen Metalle mit der Hand ausschöpfte, für welches Kunststück er sich blofs dadurch vorbereitete, dafs er die Hand einige Augenblicke in die Achselhöhle hielt, um daselbst mit etwas Feuchtigkeit überzogen zu werden. Manche führen an, dafs auch die Schmiede mit der Hand über glühendes Eisen

---

1 In Tilloch's Magaz. a. a. O.

hinfahren. Dieses, was ich oft gesehn habe, scheint mir der sprechendste Beweis dafür zu seyn, dafs Roger seine Haut präparirt haben mufste, denn das genannte Hinüberfahren geschieht sehr schnell und es verbrennt dabei allezeit der harte und dicke Callus, welchen solche Arbeiter in ihren Händen haben, der sich aber bei unserm Künstler nicht fand. Gehlen erwähnt, dafs auch von andern Personen geringere Quantitäten siedend heifser Flüssigkeiten ohne Nachtheil verschluckt werden, und so möge dieses auch bei Roger der Fall gewesen seyn, welcher das heifse Oel gleichfalls hinten auf die Zunge brachte, eine hierbei nothwendige Bedingung, wenn man sich den Gaumen nicht verbrennen will. Man dürfte hierbei bemerken, dafs das Oel bei seiner geringeren Wärmecapacität, und sofern es die berührten Theile beim Hinabgleiten nur mit einer dünnen Lage überzieht, noch minder gefährlich sey, als die Brühen, welche die Köche und Köchinnen beim Versuchen der Speisen zuweilen gleichfalls in geringer Quantität hinunterschlucken[1].

278) Meistens nimmt man, und wie mir scheint aus triftigen Gründen, an, dafs Roger seine Haut vorher präparirt habe. Zwei Momente bieten sich hierbei von selbst dar und gehen auch übereinstimmend aus den Beobachtungen hervor. Zuerst werden die auffallendsten Versuche mit Eisen gemacht und dieses Metall mufs daher die Wärme am wenigsten leicht abgeben. Dieses wird hauptsächlich klar, wenn man gesehn hat, mit welcher Vorsicht und Behutsamkeit das geschmolzene oder auch schon erstarrte Zinnblei nur momentan berührt, eigentlich nur dagegen gestofsen wurde und mit welcher Dreistigkeit Roger sowohl, als auch die erwähnte Frau, hell glühendes Eisen behandelten. Man könnte annehmen, dafs das Eisen vorzugsweise die Wärme schwer abgebe, womit Boeckmann's oben (§. 260) erwähnte Versuche übereinstimmen, denn hiernach ist das Strahlungsvermögen des Eisens unter allen Metallen am kleinsten, nämlich 0,325, das des Zinnblei dagegen

---

1 Davenport in Ann. of Philos. T. IX. p. 111, vergl. Bulletin de la Soc. Philom. 1817, giebt an, man könne ohne Gefahr einen Finger in siedendheifses Theer von 102° C. Wärme tauchen, mit einem Handschuh werde man sich aber verbrennen. Letzteren Versuch stellte er aus Rüchsichten auf seine noch neuen Handschuhe nicht an.

0,713, mehr als doppelt so grofs, und wenn Klaproth's Beobachtungen beim Leidenfrost'schen Versuche (§. 271) hiermit nicht übereinstimmen, indem er die Zeiten des Verdunstens gleich grofser Tropfen auf Eisen, Silber und Platin = 40, 50 und 65 Sec. fand, so mufs man berücksichtigen, dafs die beiden letzteren Metalle weit schwieriger oxydirt werden und daher die im Leidenfrost'schen Versuche nothwendige Blänke ihrer Oberfläche ungleich besser behalten. Es giebt zugleich Gründe zu vermuthen, dafs gerade die stärkere Hitze vom Eisen am schwierigsten abgegeben wird, wenigstens spricht hierfür die erwähnte Beobachtung, dafs nur das noch im Aufwallen begriffene, also im höchsten Grade erhitzte Eisen mit der Hand abgeschöpft werden kann, und wenn die Erscheinungen im Leidenfrost'schen Versuche dieses nicht unterstützen, indem die Schnelligkeit der Verdunstung mit erhöheter Temperatur wächst, so mufs man berücksichtigen, dafs eben die letztere auch bei allen Metallen, wenn auch am wenigsten bei Platin, die Blänke der Oberfläche vermindert. Es sind also allerdings Gründe vorhanden, die zu dem Schlusse berechtigen, dafs gerade glühendes Eisen seine Wärme nicht leicht abgiebt, wie auch nothwendig der Fall seyn mufs, da die erwähnten seidenen Bänder an den Füfsen der genannten Frau beim Auftreten auf glühendes Eisen nicht verkohlt wurden, wobei jedoch das dichte Anliegen derselben an der Haut nicht unberücksichtigt bleiben darf.

279) Eben dieses führt uns auf das zweite, der Beachtung werthe Moment, nämlich die menschliche Haut mufs nur mit Schwierigkeit die Hitze des heifsen Eisens aufnehmen. Dieses folgt schon aus der nicht statt gefundenen Verbrennung der seidenen Bänder; denn ginge die Hitze in dieselbe so schnell über, wie z. B. in Papier, Holz u. s. w., so hätte deren Zerstörung nothwendig erfolgen müssen. Aufserdem aber ist ein solcher Zustand der Haut füglich denkbar, vermöge dessen sie zwar nicht unzerstörbar, aber doch so beschaffen seyn könnte, dafs eine Zerstörung derselben durch Hitze keine Inflammation zur Folge hätte. Gehlen bezweifelt nicht, dafs die menschliche Haut beide Eigenschaften etwa durch Säuren oder absoluten Alkohol erhalten könne, Sementini giebt die hierzu dienlichen Substanzen bestimmt an, und mir selbst scheinen überwiegende Gründe vorhanden zu seyn, die zu der Annahme

berechtigen, dafs Roger sich eines derartigen Mittels bedient habe. Abgesehn von der sonst unerklärlichen Unverbrennlichkeit seiner Haut, die nach der Reihenfolge der an verschiedenen Orten gezeigten Leistungen mit der Zeit vermehrt zu werden schien, sprechen hierfür folgende Gründe. Zuerst die Aussage von Roger selbst. Nachdem wir ihn bei seinen öffentlichen Vorstellungen genügend controlirt hatten, ersuchten wir ihn, zu einer bestimmten Zeit in die Wohnung des genannten Oberbergrath Gruner zu kommen, was er auch that; dort unterredeten wir uns vertraulich mit ihm, machten ihm begreiflich, dafs wir die Erzählung, er sey als Kind in Feuersgefahr gewesen und dabei habe sich zufällig seine Unverbrennlichkeit gezeigt, für ein Mährchen halten müfsten, und ersuchten ihn, uns offen zu bekennen, ob und welche Mittel er anwende, da wir ihm versprechen wollten, durchaus keinen ihm nachtheiligen Gebrauch davon zu machen. Er bekannte ganz offen, dafs er jene Fabel nur erzähle, um beim grofsen Haufen mehr Aufsehn zu erregen, allerdings aber wende er ein Mittel an, um seine Haut unempfindlich gegen die Hitze zu machen, auch würde er uns dasselbe gern mittheilen, da er uns für gewissenhafte Männer halte, allein in jenem Augenblicke habe ein Schriftsteller (Dr. Müller[1] in Bremen) ihn öffentlich für einen blofsen Betrüger erklärt, obgleich er ihm seine Kunststücke nicht nachmachen könne, und dadurch bringe er ihn um die nothwendigen Mittel seiner Subsistenz. So viel wolle er aber sagen, dafs es der Stoffe verschiedene gebe, um den genannten Zweck zu erreichen; die einfachsten, aber auch minder wirksamen, seyen Säfte gewisser saftreicher Pflanzen, womit man die Haut mehrmals am Tage und anhaltend waschen müsse. Roger liefs sich bei seinen Vorstellungen vorher einen Topf, wie er sagte, mit Wasser, bringen, womit er sich in Gegenwart der Zuschauer Arme, Hände, Schenkel, Füfse und Gesicht sark wusch, um darzuthun, dafs er keinen schützenden Ueberzug auf seiner Haut habe. Erst später fiel mir ein, dafs eben diese Flüssigkeit wohl ein Präservativmittel seyn möge, welches unmittelbar vor den Versuchen angewandt um so besser schütze. Als daher in Marburg dieselben Kunst-

---

1 Der Unverbrennliche, oder wie macht es Herr Roger, um gegen das Feuer gesichert zu seyn u. s. w. Bremen 1807. 8.

stücke von einer Frau angekündigt wurden, ersuchte ich einen meiner Schüler, wo möglich die Beschaffenheit dieses sogenannten Waschwassers ausfindig zu machen. Wirklich wurde der Topf mit dem Reste derselben so schnell bei Seite geschafft, dafs es ihm nur durch grofse Gewandtheit gelang, mit einem Finger hineinzutauchen; die Flüssigkeit war kein reines Wasser, sondern eine säuerlich zusammenziehende Auflösung. Sementini legt gröfseres Gewicht, als mir zulässig scheint, auf eine durch Gewohnheit entstandene Unempfindlichkeit der Haut, wofür er den Beweis vorzüglich aus dem am Schlusse der Vorstellungen hinzugefügten Kunststücke entnimmt, dafs Roger die Haut des Oberarmes mit einer starken Stecknadel durchstach (S, M) und an dem obern Theile dieser Stecknadel seine Uhr aufhing (M), wobei die Haut dem Durchstechen einen bedeutenden Widerstand entgegensetzte, mithin dicker und erhärteter als gewöhnlich zu seyn schien. Sementini suchte durch eigene Versuche die geeignetsten Präservativmittel aufzufinden. Säuren und einige saure Salze zeigten sich unwirksam, jedoch machten wiederholte Waschungen mit verdünnter Schwefelsäure seine Haut so unempfindlich, dafs sie die Hitze eines rothglühenden Eisens ertragen konnte. Demnächst versuchte er eine Alaunsolution in Wasser, die er so lange kochen liefs, bis sie schwammig wurde, und fand auch diese sehr wirksam; inzwischen stieg ihre schützende Kraft bedeutend, wenn er die präparirten Stellen wiederholt mit Seife wusch und abtrocknete, so dafs er dann die Berührung mit dem glühenden Eisen ohne Schmerz und selbst, ohne die Haare der berührten Stellen zu verbrennen, ertragen konnte. Vorzüglich hielt Sementini den Schleim auf Roger's Zunge für einen solchen schützenden Ueberzug, den er am besten nachmachte, wenn er die Zunge mit verdünnter Schwefelsäure präparirte, dann wiederholt mit Zucker bestreuete und mit Seife rieb. Gehlen ist nicht geneigt, diesen von allen Beobachtern wahrgenommenen Schleim für einen solchen Ueberzug zu halten, auch ist dieses nicht wahrscheinlich, da der Künstler viel redete, ehe er die Versuche mit der Zunge anstellte. Sementini[1] giebt später eine Mischung von 0,5 ℔. Alaun mit 4 Lt. Schwefelsäure und 2 ℔. Wasser als sehr wirksam an. Diese

---

1 Hermbstädt's Bulletin. Th. X. Heft 1 u. 5.

habe ich selbst sehr bewährt gefunden, indem sie nicht blofs die Haut zu einem schlechten Leiter macht, sondern ihr auch die Geneigtheit zur Inflammation benimmt. Hat man die Haut anhaltend wiederholt mit dieser Flüssigkeit gewaschen, so kann man dreist mit einem stark rothglühenden Eisen darüber hinfahren, denn theils wird sie nicht leicht zerstört und selbst die Stellen, welche bräunlich geworden, gleichsam verkohlt sind, lassen sich nachher mit den Nägeln abkratzen, ohne dafs eine Blase entsteht. Höchst wahrscheinlich war daher die zum Waschen angewandte Flüssigkeit eine solche oder eine dieser ähnliche Mischung.

280) Das von Arthur Trevelyan zufällig erfundene tönende Instrument, *Wackler* (*Rocker*), *Wieger* (nach Seebeck), auch *Thermophon* genannt, ist einer der interessantesten physikalischen Apparate. Die Erfindung fällt in den Februar 1829; im Sommer 1831 wurde es in Edinburg und London bekannt, zu derselben Zeit erhielt ich durch die Güte des Professors Galbraith in Edinburg ein Exemplar vom Erfinder selbst zugesandt und machte im Februar 1832 eine kurze Notiz darüber bekannt[1], um dieselbe Zeit aber äufserte sich Faraday[2], dem die Sache bekannt geworden war und welcher die Versuche wiederholte, ausführlicher darüber. Das Instrument, welches ich von Trevelyan selbst erhalten habe, unterscheidet sich hinsichtlich seiner Gestalt von den nachher bekannt gewordenen durch den Mangel des Knopfes am Stiele, auch ist dasselbe am obern Ende schräg abgeschnitten und wird an der Stelle, wo der schräge Schnitt beginnt, auf den Rand eines hohlen Bleicylinders von 2,5 bis 3 Z. Höhe und fast 2 Zoll Durchmesser so gelegt, dafs das Ende des Stiels auf dem Brete ruht, welches den Bleicylinder trägt. Die später bekannt gewordenen Exemplare haben im Wesentlichen folgende Gestalt. Auf einem Tische ruht ein massives bleiernes Parallelepipedon B mit der obern stark gewölbten Fläche, gegen 4 Z. lang, 2 bis 2,5 Z. breit und bis an die Wölbung ebenso hoch, doch kann die Höhe auch etwas beträchtlicher seyn, wenn man beabsichtigt, eine Weingeistlampe darunter zu setzen.

Fig. 50.

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 466.

2 Edinburgh Journ. of Sc. N. S. N. XI. p. 141. Poggendorff's Ann. a. a. O. S. 463. Journ. of the Roy. Inst. N. IV. p. 119.

Der darauf zu legende Wackler besteht aus einem 4 bis 5 Z. langen, 1,5 bis 1,75 Z. breiten und 0,4 Z. dicken Stücke Kupfer[1], oben ganz flach oder besser muldenförmig bis 2 Lin. vom Rande der Länge nach ausgehöhlt, unten nach beiden Seiten hin von der Mitte aus bis zur Tiefe von 1 bis 1,5, selbst 2 Linien schräg weggeschnitten, so daſs in der Mitte der Länge nach eine fast 2 Lin. breite, mit einer 0,5 Lin. breiten und fast ebenso tiefen Furche versehene ebene, der oberen parallel laufende Fläche geblieben ist. In dieses Stück A wird ein kupferner oder auch messingner, 1,5 Lin. dicker, etwa 6 Zoll langer Draht eingeschraubt, eingesteckt oder genau mit der Metallmasse verbunden, an dessen Ende sich eine etwa 0,8 Z. dicke Kugel befindet. Wird dieser Wackler so, wie die Figur zeigt, kalt auf den Bleiklotz gelegt, so daſs er auf der schmalen unteren Fläche ruht, und an einer Seite niedergedrückt, so schwankt er etliche Male hin und her, bis er bald wieder zur Ruhe kommt, ist er aber vor dem Hinlegen über einer Weingeistlampe stärker, als zum Siedepuncte des Wassers, erhitzt oder giebt man ihm im Liegen diese Temperatur, so finden diese Schwankungen anhaltend statt und sind mit einem nach dem Hitzegrade höheren oder tieferen Tönen verbunden, welches durch Erhalten dieser, wenn gleich etwas wechselnden Temperatur leicht Stunden lang ohne Unterbrechung fortdauert. Man kann den Wackler auch auf einen 4 bis 5 Z. im Durchmesser haltenden, 2 Lin. dicken und etliche Zoll hohen hohlen Bleicylinder legen, so daſs etwa seine Mitte auf dem einen und der Stiel auf dem andern Rande des Cylinders ruht.

281) Diese ursprüngliche Gestalt des Instrumentes läſst sich zwar auf mehrfach verschiedene Weise modificirt darstellen, allein die Wissenschaft gewinnt dadurch nicht und man wird sich daher hiermit begnügen, wenn man zugleich dasjenige berücksichtigt, was bei den Versuchen, dieses Phänomen zu erklären, nicht unbeachtet bleiben darf und demnächst erwähnt werden soll. Eine interessante und praktische Modification ist aber folgende. Ein kupferner Ring von etwa 3,5

---

1 Allgemein wird Kupfer angegeben, und dieses Metall ist auch am geeignetsten, allein das von Trevelyan erhaltene Exemplar ist in einem Stück gegossenes Messing.

Zoll Durchmesser, 2,5 bis 3 Lin. Höhe und 2 Lin. Dicke, kantig gearbeitet[1], wird nach gehöriger Erhitzung auf einen bleiernen Klotz horizontal gelegt, welcher 4 Zoll lang, 1,5 Zoll breit, 2 bis 2,25 Zoll hoch ist und dessen verticaler Durchschnitt entweder ganz oder auf jeden Fall an den beiden Stel-
Fig. 51. len, wo der Ring aufliegt, die in der Zeichnung ausgedrückte Gestalt hat. Ist der Ring vorher erhitzt worden oder setzt man nach dem Auflegen desselben auf den Bleiklotz eine brennende Weingeistlampe abwechselnd unter die eine und die andere überragende Seite, so wird er anfangen, auf- und abwärts zu oscilliren, was zwar nicht mit einem Tönen verbunden ist, desto deutlicher aber zeigen sich die sehr bedeutenden Schwingungen, denen ähnlich, die das eigentliche Instrument macht und deren gleichmäfsige Folge in gleichen Zeiten die Ursache des Tönens ist. Auch diese letzteren lassen sich vergröfsert sichtbar darstellen, wenn man quer über das Instrument einen 12, 18 bis 24 Zoll langen Grashalm legt, ja selbst mit einer dünnen Glasröhre ist mir dieses oftmals gelungen. Endlich gewahrt man das Tönen selbst dann, wenn man eine geeignete Kupferstange erhitzt und auf eine bleierne Unterlage legt. Trevelyan legte sogar eine 10 oder mehr Zoll lange, in der Mitte platt ge-
Fig. 52. schlagene Messingstange mit einer Kugel an jedem Ende quer über den Wackler, um die Vibrationen vergröfsert darzustellen, und hörte das Tönen noch, als ein solches Instrument von 5 Z. Länge, 2 Z. Breite und $\frac{3}{8}$ Z. Dicke (ohne den Draht mit dem Knopfe gerechnet) auf Blei liegend mit 12 ℔. belastet war. Nach ihm wird der Ton höher und stärker, wenn man den Wackler in der Mitte mit einer Metallspitze drückt, intensiver, wenn man die Unterlage oder nur den Tisch, worauf das Instrument ruht, mit Metall berührt. Ueberhaupt ist es interessant zu lesen, wie derselbe zu dieser Entdeckung zufällig gelangte und mit wie vielen Metallen unter mannigfaltigen Modificationen er die Erscheinung weiter verfolgte[2], was ich hier der Kürze halber übergehe.

---

1 Mit einem Ringe, aus einem runden Stabe bestehend, habe ich keine Versuche angestellt, zweifle aber nicht, dafs er gleich gute oder noch bessere Dienste leisten würde.

2 London and Edinb. Phil. Mag. N. XVII. p. 321. N. XXXII. p. 85. Edinburgh Phil. Trans. T. XII.

282) Die Aufgabe der Physiker war zunächst, die Ursache dieser Phänomene aufzufinden, die aufgestellten Erklärungen lassen sich aber füglich auf drei zurückbringen. Die erste wurde gleich anfangs von Faraday[1] gegeben, dem der Erfinder das Instrument zeigte und welcher die Erscheinungen bei der Wiederholung bestätigt fand. Nach ihm berührt der Wackler das Blei in zwei Puncten, die sich durch die mitgetheilte Hitze zu zwei Hügeln erheben. Neigt sich der Wackler zufällig zur Seite[2], so erkaltet der frei gewordene Bleipunct und sinkt zusammen, der Wackler fällt zurück, der andere unterstützende Bleipunct wird frei, sinkt zugleich und so folgen die Oscillationen regelmäfsig auf einander. Aufserdem wirkt hierbei mit die Expansion und Contraction des Bleies in horizontaler Richtung, vermöge welcher der erhitzte Stützpunct sich stets gegen den jedesmal erkalteten bewegt. Diese Wirkung ist indefs sehr unbedeutend und kann bei der Betrachtung vernachlässigt werden. Dieser Erklärung hat man einige nicht unwichtige Argumente entgegengesetzt. Zuvörderst ist die Bedingung eines zufälligen Anstofsens keineswegs erforderlich und damit fällt der Anfang der Bewegung, also auch der Grund ihrer Fortdauer, von selbst weg. Zweitens schien es unmöglich, dafs bei einem in der Luft liegenden Bleicylinder eine hierbei vorausgesetzte so bedeutende Vermehrung und Verminderung des Volumens durch die im Ganzen so geringe Menge der mitgetheilten Wärme entstehn könnte, als die Gröfse der Oscillationen erfordern dürfte. Noch weniger schien drittens dieses in so kurzen Zeitintervallen möglich, denn es erfolgen der Vibrationen 600 bis sogar 800 in einer Zeitsecunde. Endlich viertens müfste dann die Erscheinung auch bei glei-

1 Edinb. Journ. of Sc. N. S. N. XI. p. 141. Journ. of the Roy. Inst. N. IV. p. 119. Poggendorff's Ann. XXIV. 470. Leslie äufserte nur im Allgemeinen, die Ausdehnung des kälteren Metalles durch die Wärme des heifsen sey die Ursache des Phänomens.

2 Es ist zwar richtig, dafs der Wackler zu vibriren beginnt, wenn man ihn anstöfst, auch erfolgte dieses, wenn er bereits zur Ruhe gekommen ist, aufs Neue, allein die Oscillationen beginnen auch, namentlich beim Ringe, ohne irgend einen äufsern Impuls, sobald die Hitze durch eine untergestellte Weingeistlampe den gehörigen Grad erreicht hat; ohne Erhitzung oscillirt der Ring nie von selbst, und nach dem Anstofsen kommt er sehr bald wieder zur Ruhe.

chen Metallen statt finden und sich bei den am besten Wärme leitenden am auffallendsten zeigen, wie auch nicht minder dem Unterschiede der Temperaturen beider direct proportional seyn, wovon gerade das Gegentheil statt findet.

283) Eine zweite Erklärung hat verschiedene Anhänger gefunden und ist vorzugsweise durch Brandes[1] inSchutz genommen worden. Wenn Metalle erwärmt werden oder nach erhaltener Hitze erkalten, so vertheilt sich die Wärme in ihnen wegen ungleicher Beschaffenheit ihrer Theile nicht vollkommen gleichmäſsig, und dieses bewirkt das allgemein bekannte Knacken, was man namentlich so oft an Ofenthüren, Ofenröhren, eisernen Ofentrommeln u. s. w. wahrnimmt. Aehnliche Erscheinungen kommen in Menge vor, ja es gehört dahin auch das oft wahrgenommene Ertönen erkaltender Metallmassen, wie namentlich Gilbert[2] bei Gelegenheit eines auffallenden Beispiels beim Silber erörtert hat. Kehren diese einzeln als ein Knacken erscheinenden Geräusche in hinlänglicher Menge und in gleichen Zeitintervallen wieder, so muſs hieraus ein Ton entstehn, wie zuerst Laplace bemerkt zu haben scheint. Diese Hypothese hat allerdings groſsen Schein für sich, allein diese Contractionen finden bloſs im Innern der Körper statt und können ihrer Natur nach nicht füglich so zahlreich und gleichmäſsig erfolgen, als zur Erzeugung eines so regelmäſsigen Tones erforderlich wäre; auf jeden Fall aber wäre es unmöglich, hieraus die sichtbaren Oscillationen der vibrirenden Massen abzuleiten.

284) James Forbes[3] war der Erste, welcher nach dem Erfinder das Phänomen nebst seinen verschiedenen Modificationen ausführlich untersuchte; es wird aber genügen, nur die Hauptsachen der von ihm erhaltenen Resultate mitzutheilen. Zuerst widerlegt er auf directe Weise die ohnehin nicht plausibele Hypothese Trevelyan's, daſs der Ton durch einen in der Furche des Wacklers sich bewegenden Luftstrom entstehe, und tritt der Ansicht Faraday's bei, welcher den Ton aus den Stöſsen des Apparates auf die Unterlage ableitet, weswegen

---

1 Vorlesungen über die Naturlehre. Th. III. S. 29.

2 Dessen Annalen. Th. XXII. S. 323.

3 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XIX. p. 15. N. XXI. p. 182. Edinb. New Phil. Journ. XXXI. 183.

er auch bei den zu langsamen der Ringe fehlt. Die Furche dient vielmehr dazu, die Berührungsfläche zwischen Kupfer und Blei kleiner zu machen und dadurch die Schnelligkeit der Vibrationen zu befördern, wozu dann zugleich die angegebene, von FORBES hinzugefügte Aushöhlung der oberen Seite mitwirkt, indem sie den überwiegenden Einfluſs des Schwerpunctes in der Mitte zu beseitigen und die Oscillationen nach beiden Seiten zu erleichtern dient. In der Mitte dieser ausgehöhlten Fläche befindet sich dann ferner eine Vertiefung zur Aufnahme eines Tropfens Quecksilber, an welchem man die Vibrationen sehen und mittelst dessen man die angenommene Wärme annähernd messen kann. Die Zahl der Schwingungen eines gewöhnlichen Apparates, aus der Höhe des Tones bestimmt, stieg bis 430 und ging dann bis zu 20 herab, bei denen noch ein Ton hörbar zum Vorschein kam, unter günstigen Umständen stieg sie aber bis 700, ja 800 und noch höher. Die Oscillationen, welche das Tönen erzeugen, sind übrigens dieselben, welche man wahrnimmt, wenn das nicht erhitzte Metall angestoſsen wird und nach bloſs mechanischen Gesetzen von einer Seite zur andern fällt; diese letzteren aber nehmen nach eben diesen Gesetzen (der Pendelschwingungen) vom ersteren an gerechnet allmälig ab, statt daſs die tönenden fortdauern, an Zahl sogar zunehmen und verschiedentlich wechseln, wovon die Ursache bloſs in dem Einflusse der Wärme liegen kann.

FORBES fand als allgemeines Gesetz, daſs die Vibrationen bloſs bei metallischen Substanzen eintreten und niemals zwischen zwei gleichen Metallen, daſs ferner das eine Metall heiſs, das andere kalt seyn muſs. Indem aber das eine als Unterlage, das andere als vibrirend dient, so entstehn hieraus eine Menge Combinationen, wobei es sich bald ergiebt, daſs für das Gelingen des Versuches zwar jederzeit das nämliche Metall der beiden combinirten das heiſse und das andere das kalte seyn muſs, im Ganzen aber ist es schwer, die Metalle in Beziehung auf die Rolle, die sie hierbei am geeignetsten einnehmen, gehörig zu classificiren. Als Unterlage eignet sich am besten Blei, doch oscillirt auch dieses unter oder auf anderen Metallen, wenn es selbst von mittlerer Temperatur ist, die letzteren aber etwas über die Siedehitze des Wassers erwärmt sind. Mit Blei oscilliren die Metalle abnehmend in folgender Ordnung:

Silber, Kupfer, Gold, Zink, Messing, Platin, Eisen, Zinn. Faraday deutete schon auf eine Reihenfolge zwischen diesen Metallen in der Weise hin, daſs nach Art der elektropositiven und elektronegativen jedes höher stehende erhitzt mit jedem unter ihm stehenden, und zwar der Weite des Abstandes in einem gewissen Verhältnisse proportional, tönen würde, was denn auch Forbes unter gewissen Modificationen bestätigt fand. Auf kaltem Zinn vibrirten Silber, Kupfer, Gold und Eisen, auf kaltem Eisen Silber, auf kaltem Zink kein anderes Metall als Silber. Mit Antimon und Wismuth vibrirt kein Metall; nur einmal fand dieses bei sehr heiſsem Messing auf kaltem Antimon statt, doch will Trevelyan[1] Vibrationen des 100° heiſsen Kupfers und Messings auf einem kalten Ringe von Wismuth wahrgenommen haben. Weil schon Faraday bei diesen Erscheinungen auf einen Einfluſs der wärmeleitenden Kraft der Metalle hingedeutet hatte, so untersuchte Forbes mittelst Fourier's Contactthermometer (§. 299) diese bei verschiedenen Metallen, und gelangte zu dem wichtigen Resultate, daſs die Vibrationen mit einer Intensität zum Vorschein kommen, welche (innerhalb gewisser Grenzen) dem Unterschiede der wärmeleitenden Kraft beider Metalle proportional ist, wobei dann das am schlechtesten leitende nothwendig das kalte seyn muſs. Zur genaueren Kenntniſs des Ganzen verdient noch bemerkt zu werden, daſs Forbes einen Wackler aus Blei verfertigen lieſs, in diesen an der unteren
Fig. 55. Seite sowohl ein zusammenhängendes Stück Kupfer a, als auch zwei getrennte b und c einsenkte, und nach Erhitzung des Ganzen diese abwechselnd auf die Kante eines geeigneten Bleiklotzes oder Ringes legte. In beiden Fällen kommen die Vibrationen gleichmäſsig zum Vorschein und es wirkt daher jeder Berührungspunct für sich, so daſs es des Zusammenhanges einer gleichmäſsigen Masse nicht bedarf. Eine Verminderung der in Berührung kommenden Flächen hat auf den Ton Einfluſs, und es dient hierzu nicht bloſs die Furche in dem aufliegenden Wackler, sondern eine solche wird auch mit Vortheil in die Unterlage eingeschnitten, z. B. in den Bleiklotz, worauf der Ring oscillirt. Sind in dieser Beziehung mehrere Bedingungen vereint, welche die Schnelligkeit der Vibrationen

1 London and Edinb. Phil. Mag. N. XXXII. p. 85.

befördern, so wird der Ton höher, was auch zuweilen gegen das Ende der Erscheinung von selbst eintritt und daraus zu erklären ist, dafs die Amplitüden der Schwingungen dann kürzer werden. Vermehrung der Adhäsion, zwischenliegender Staub, Amalgam, Oel, ein Ueberzug von Oxyd u. s. w. können die Oscillationen gänzlich hindern. Eine Temperaturerhöhung bei dem besser leitenden Metalle ist unerläfsliche Bedingung, allein die leicht sich darbietende Folgerung, dafs das leichtere Gelingen des Versuches und die Menge der Vibrationen dem Temperaturunterschiede proportional seyn sollten, findet man nicht bestätigt. Mit Kupfer auf Blei geräth der Versuch am leichtesten, und es genügt dabei schon ein Temperaturunterschied von 84° C. Eisen auf Blei wird träger, wenn die Hitze des Eisens weit über den Siedepunct des Wassers hinausgeht, ja die Vibrationen hören zuletzt ganz auf. Im Allgemeinen läfst sich hierüber kein Gesetz aufstellen und es scheinen in dieser Beziehung für die einzelnen Metalle verschiedene Verhältnisse obzuwalten.

285) Rücksichtlich der Erklärung dieser Phänomene zeigt Forbes zuerst die Unhaltbarkeit der durch Faraday aufgestellten Hypothese aus dem Grunde, weil hiermit die Schnelligkeit der auf einander folgenden Oscillationen nicht wohl vereinbar sey, aufserdem aber die angenommene Wirkung sich selbst aufhebe, insofern das kalte Metall seine Ausdehnung nur durch Aufnahme der Wärme von dem heifsen erhält, welches dadurch ebenso viel verlieren und sich daher nahe um eine gleiche Gröfse zusammenziehn müfste. Nachdem er sich demnächst durch genaue Würdigung der Thatsachen genügend überzeugt hatte, dafs überall keine Thermoelektricität im Spiele sey, sah er sich genöthigt, das Phänomen blofs auf die Wirkung der Wärme zurückzubringen, wonach das Ganze auf folgenden Satz zurückkommt: *beim Uebergange der Wärme aus einem Körper in einen andern, welcher eine geringere wärmeleitende Kraft hat, findet Repulsion statt.* Diese Repulsion zeigt sich blofs bei Körpern, deren Wärmeleitungsvermögen so grofs ist, als dieses bei gewissen Metallen gefunden wird; die Repulsion wird in verschwindenden Zeitelementen erregt, und ihre Stärke ist dem Unterschiede sowohl des Leitungsvermögens, als auch in gewissem Mafse der Temperatur beider Metalle proportional und mufs vorzugsweise

dann eintreten, wenn die Wärme aus einem bessern Leiter in einen schlechteren übergeht.

Forbes weist dann nach, dafs auch andere Phänomene existiren, die auf eine Repulsion der Wärme hindeuten, wobei er sich vorzüglich auf die Versuche von Fresnel[1] und Saigey[2] bezieht. Allein abgerechnet, dafs der erste dieser Versuche offenbar eine andere Deutung erfordert[3], die letzteren aber noch problematisch sind, würde eine blofse Repulsion, als stetig wirkend, zur Erklärung hier nicht ausreichen. Die Berührung beider Metalle ist nicht innig, dennoch aber wird die Wärme leichter von dem kälteren, wenn auch schlechter leitenden Metalle aufgenommen, als von der zwischenliegenden Luft, eine Stagnation derselben zwischen beiden Metallen und dadurch erzeugte Repulsion ist daher nach dieser Ansicht nicht wohl denkbar, wir müfsten vielmehr eine Anziehung beider Metalle annehmen. Genauer scheint mir daher die Erklärung auf folgenden Principien zu beruhn. Beide Metalle berühren einander genau und um so inniger wegen der statt findenden Stöfse gegen einander. Im Momente der Berührung geht die Wärme aus dem heifseren in das kältere über, sie hat vermöge stärkerer Leitungsfähigkeit des ersteren eine gröfsere Geschwindigkeit, als sie im letzteren erhalten kann, wird daher in der Berührung der Oberfläche des letzteren verzögert, und äufsert somit eine Repulsion gegen das erstere. Dafs aber die Wärme eine für diese Wirkung genügende Repulsion äufsern könne, kann nicht zweifelhaft seyn, da die Ausdehnung durch Wärme alle Bande der Cohäsion überwindet, und die Vorstellung hat daher nichts an sich Widerstreitendes, dafs der Wärmestoff, welcher zwei Molecüle des nämlichen Körpers von einander entfernt, auch in dem Augenblick, wo er aus einem gut leitenden Körper in einen schlecht leitenden übergeht, die sich berührenden Molecüle beider von einander zu entfernen das Vermögen habe. Inzwischen hat neuerdings Seebeck[4] das interessante Problem einer ebenso ausführlichen als gründlichen Untersuchung unterworfen. Zuerst werden von ihm die haupt-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XIX. p. 57 u. 107.
2 Bulletin des Sciences mathém. T. IX.
3 Vergl. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 547. Anm. 3.
4 Poggendorff's Ann. LI. 1.

sächlich durch Trevelyan und Forbes aufgefundenen Thatsachen übersichtlich zusammengestellt und diejenigen Puncte herausgehoben, worin beide von einander abweichen, wobei sich im Allgemeinen, wenn man die neuen Versuche hinzunimmt, die Seebeck selbst angestellt hat, herausstellt, dafs die Gesetze, welche Forbes aufgefunden zu haben behauptet, zwar dann als richtig gelten können, wenn von einem leichteren Hervortreten des Phänomens die Rede ist, handelt es sich aber um die Frage, ob überhaupt Oscillationen, wenn auch durch etwas künstlichere Vorrichtungen und minder sicher, zu erhalten sind, so erscheinen jene Gesetze als zu enge. Namentlich traten die Oscillationen dann auch in mehreren Fällen ein, wo sie früher nicht erhalten wurden, wenn der Wackler auf zwei Spitzen gelegt wird, die entweder einem gemeinschaftlichen gröfseren Metallstücke angehören, oder für sich neben einander in geringem Abstande durch Einklemmen in einen Schraubstock festgehalten werden. Eine wesentliche Modification des Apparats bestand aber darin, dafs Seebeck den horizontal liegenden Wackler mit einer an ihm befestigten, vertical herabhängenden, zwei bis drei Fufs langen hölzernen Stange versah, die er noch obendrein unten mit Gewichten belegte, wodurch also die Schwingungen langsamer werden und die Gröfse der Wärmewirkung, welche diese Schwingungen erzeugt, sich messen läfst. Eine unten angebrachte Scale verstattet die Amplitüden der Schwingungsbogen zu messen und zeigt deren Fortdauer oder Abnahme. Lag z. B. der heifse Wackler von Kupfer auf kaltem Blei, so dauerten die Schwingungen ohne Unterbrechung fort, war aber das Blei heifs und das Kupfer kalt, so kam es fast dreimal schneller zur Ruhe, als wenn beide kalt waren[1]. Als wichtige Thatsache wurde zuerst aufgefunden, dafs auch Kupfer auf Kupfer in Schwingungen erhalten wird, wenn die Unterlage aus zwei Spitzen besteht, weil dadurch, wie Seebeck meint, die lineare Ausdehnung der dünnen Spitzen vermehrt wird. Ebenso kann man die Ordnung der Metalle umkehren und dasjenige Metall, was im einen Ver-

1 Man mufs hierbei voraussetzen, dafs das heifse Blei die Unterlage bildete, denn sonst stände diese Thatsache S. 17 im Widerspruche mit der S. 20 behaupteten, dafs heifses Blei auf kaltem Kupfer vibrirt habe.

suche die Unterlage bildet, im andern als Wackler anwenden, indem sogar heifses Blei auf zwei Kupferdrähten und auf Eisen zu oscilliren fortfuhr. Hierauf wird die Behauptung gegründet, dass jedes heifse Metall auf jedem kalten zu schwingen vermöge. Am meisten Beachtung verdient, dafs Seebeck die Höhen zu messen vermochte, durch welche die über den Spitzen befindlichen Stellen des Wacklers herabfielen, bis sie die unterstützenden Spitzen erreichten, und diese den linearen Ausdehnungen der unterstützenden Drähte und ihrem Wärmeleitungsvermögen angemessen fand, wie eine hierüber aufgestellte Berechnung ergab. Hiernach fand er die Hebung, d. h. die periodische Ausdehnung und Zusammenziehung, welche die Drähte in ihrer Längenrichtung durch die wiederholte Berührung mit dem heifsen Wackler und die darauf folgende Abkühlung erleiden, abhängig 1) vom Ausdehnungscoefficienten; 2) von der Dicke der Drähte; 3) von der Länge und 4) von der Wärmeleitung und Wärmecapacität derselben. Alles dieses spricht sehr entscheidend für die durch Faraday aufgestellte Hypothese, und diese dürfte daher so lange als gültig betrachtet werden, bis sie durch eine gleich gründliche Untersuchung widerlegt und die ihr entgegenstehende von Forbes als den Thatsachen angemessener dargestellt worden seyn wird. Immerhin wird schwer vorstellbar bleiben, wie den berührten Stellen in so kurzer Zeit, die nach Seebeck selbst in Gemäfsheit der Zahl der Oscillationen in manchen Fällen nicht mehr als 0,001 Sec. beträgt, eine zur gehörigen Ausdehnung erforderliche Temperaturerhöhung, die zu 37°,5 angegeben wird, mitgetheilt und von ihnen bis zum Verschwinden wieder abgeleitet und ausgestrahlt werden kann. Merkwürdig bleibt aufserdem, dafs der Wackler nach der ersten Gestalt und der oben erwähnte Ring auf Blei ruhig liegend ersterer durch eine, letzterer durch zwei untergestellte Weingeistlampen von selbst zu oscilliren anfangen, was durch genaue Versuche mit Entfernung auch der kleinsten Erschütterung constatirt werden müfste, so wie endlich der Umstand, dafs der Ton so oft bald zu einem bedeutend höheren, bald tieferen überspringt, was aus Faraday's Hypothese nicht hervorgeht.

## 2) Fortpflanzung der Wärme in den verschiedenen Körpern; Wärmeleitung.

Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich auf die Abgabe und Annahme der Wärme, ohne eigentliche Rücksicht auf dasjenige, was dabei in den andern, mit im Conflicte befindlichen, Körpern vorgeht; wir müssen jetzt aber diejenigen Erscheinungen prüfen, die sich dann zeigen, wenn die Wärme in den Körpern ungleich vertheilt worden ist und dieselben in gegebenen Richtungen durchströmt, um sich ins Gleichgewicht zu setzen. Dabei bleibt das Verhalten derjenigen Körper, welche gleichzeitig Wärme den zu untersuchenden Körpern zuführen oder sie von ihnen aufnehmen, zunächst unberücksichtigt, statt daſs dieses im nächstfolgenden Abschnitte vorzugsweise in Betrachtung kommt. Sofern es sich bei allen diesen Phänomenen um die Verbreitung der Wärme handelt, können sie zwar nicht scharf gesondert werden, auch pflegt man sie unter dem allgemeinen Namen der Wärmeleitung zusammenzufassen, inzwischen dürfte die folgende Eintheilung die Uebersicht des Ganzen erleichtern.

### *a*) Fortpflanzung der Wärme durch Flüssigkeiten.

286) Nach der älteren Ansicht strömt die Wärme oder das Elementarfeuer, wie unter Andern Boerhave sich mit seiner gewohnten Bestimmtheit hierüber ausdrückt, ungehindert durch die Zwischenräume der Körper, und es müſste hiernach schon von selbst die Leichtigkeit dieser Strömung der Gröſse dieser Zwischenräume direct proportional seyn. Diesem gemäſs hielt man die dichtesten Körper für die schlechtesten Leiter, fand aber bald die Erfahrung hiermit im Widerspruche. Die neueren Untersuchungen haben gezeigt, daſs sich hierüber so leicht kein allgemeines Gesetz aufstellen läſst und mehrfache Bedingungen, namentlich auch die specifische Wärmecapacität der Körper, dabei in Betrachtung kommen, weshalb die Thatsachen erst auf dem Wege der Erfahrung auszumitteln sind. Bei den Flüssigkeiten liegt ein bedeutendes Hinderniſs eben in der leichten Beweglichkeit derselben, und es kann daher eine reine und unbedingte Fortleitung der Wärme bei ihnen in der Art, wie

bei festen Körpern, gar nicht statt finden, indem diejenigen ihrer Theile, welche Wärme aufgenommen haben, in Folge ihres geringeren specifischen Gewichtes aufsteigen und dieselbe auf diese Weise schneller, als durch bloſse Leitung, von einem Orte zum andern, im Allgemeinen in die Höhe führen. Berücksichtigen wir zuerst die *expansibelen Flüssigkeiten*, so werden hieraus eine Menge bekannter Erscheinungen erklärbar. Im Ganzen sind sie sehr schlechte Wärmeleiter, wie vorzüglich Rumford[1] dargethan hat; indeſs kenne ich keine Versuche, welche direct zur Ausmittelung der Wärmefortpflanzungsgesetze, mit Ausschluſs des Einflusses ihrer Beweglichkeit, angestellt worden wären, alle beziehn sich vielmehr auf ihr Durchleitungsvermögen, was übrigens hiermit in nächster Verbindung steht. Wird der Einfluſs ihrer Beweglichkeit nicht ausgeschlossen, so ist das hierher Gehörige theils oben bei der Strahlung erörtert, theils rücksichtlich der Bewegung an sich im Art. *Luftheizung*[2] abgehandelt worden.

287) Die *tropfbaren Flüssigkeiten*, namentlich das Wasser, galten für gute Wärmeleiter, weil sie erhitzten Körpern ungleich schneller, als die Luftarten, ihre Wärme entziehn und die mit ihnen in Berührung gebrachten Körper, zunächst in Folge ihrer groſsen Wärmecapacität, schnell erkalten machen. Allerdings findet hierbei auch eine Fortpflanzung der Wärme durch die Masse der Flüssigkeiten statt; weil aber zunächst nur die Abkühlung der sie berührenden Körper in Betrachtung kommt, so ist das dahin Gehörige bereits bei der Strahlung (§. 263) erörtert worden. Beschränken wir uns dagegen ausschlieſslich auf das Fortpflanzungsvermögen, welches durch das Verhältniſs der Zeit, binnen welcher die Wärme gewisse Räume in der Masse der Flüssigkeiten durchläuft, gegeben wird, so hielt man die Flüssigkeiten, den Einfluſs ihrer Beweglichkeit nicht beachtend, gleichfalls für gute Wärmeleiter, bis Rumford[3] durch seine Untersuchungen zu der Be-

---

1 Philos. Trans. 1792. Daraus in Gren Journ. T. VII. p. 245. Vergl. dessen Exper. Essays. Ess. VI.

2 Vergl. Art. *Heizung*. Bd. V. S. 189.

3 Experimental Essays. Ess. VII. Lond. 1797. Gren n. Journ. T. IV. p. 418. G. I. 214. 323. II. 249. Nicholson's Journ. N. 17. Journ. de Phys. T. IV. Cah. 3 u. 4. Biblioth. Brit. T. XXXII. p. 123. Thomson's Chemistry T. I. p. 91.

hauptung geführt wurde, die expansibelen sowohl als auch die tropfbaren Flüssigkeiten seyen absolute Nichtleiter der Wärme und letztere werde in ihnen blofs durch die Bewegung ihrer Theile fortgeführt. Diese Behauptung fand lebhaften Widerspruch und veranlafste einen anhaltenden Streit und eine Menge von Versuchen, weil es so ausnehmend schwer war, den Einflufs der Beweglichkeit der erwärmten Theile gänzlich auszuschliefsen, bis das Problem neuerdings durch unzweideutige Versuche entschieden worden ist. Wir wollen hierüber das Wichtigste mittheilen.

288) Kaum hatte Rumford seine anscheinend paradoxe Ansicht von der gänzlichen Unfähigkeit der Flüssigkeiten, die Wärme zu leiten, aufgestellt, als er auch eine Menge Gegner fand[1], deren mühsame Versuche genügend darthun, wie schwer es hält, irgend einen Satz unwidersprechlich zu begründen oder zu widerlegen. Rumford stützte seine Behauptung, dafs weder expansibele noch auch tropfbare Flüssigkeiten eigentliche Leiter der Wärme seyn können, auf das Argument, dafs jedes erwärmte Theilchen wegen der grofsen Ausdehnungsfähigkeit flüssiger Körper sogleich specifisch leichter wird und aufsteigt, mithin die aufgenommene Wärme mit sich fortführt und demnach nicht an ein benachbartes Theilchen abgeben kann. Dieses Aufsteigen findet allerdings statt, wie man vermittelst kleiner, in den tropfbaren Flüssigkeiten schwebender Körperchen leicht gewahrt, es dient daher vorzugsweise und im hohen Grade zur Verbreitung der Wärme in der ganzen Masse der expansibelen und tropfbaren Flüssigkeiten und somit zur Erklärung vieler Phänomene, insbesondere wenn man die gleichzeitig aufgefundene Entdeckung, dafs das Wasser über dem Gefrierpuncte am dichtesten ist, hinzunimmt; allein es folgt doch keineswegs, dafs nicht das aufsteigende Theilchen auch zugleich einige Wärme an berührende Theilchen abgeben und auf diese Weise die Wärme wirklich fortleiten könne. Inzwischen brachte Rumford einen in siedendem Wasser er-

---

1 Kurz erwähne ich de Luc in v. Crell's chem. Ann. 1798. Th. I. S. 288. G. I. 464. Hope in Edinb. Phil. Trans. T. V. p. 394 und Brewster in Philos. Trans. 1816. p. 106. Prevost in Journ. de Phys. 1811. Févr. Achard in Nouv. Mém. de Berlin. 1786. Uebers. in Crell's chem. Ann. 1787. Th. II. S. 195 u. 291.

hitzten eisernen Cylinder mit Vorsicht, um Strömungen zu vermeiden, bis zu 0,2 Z. Entfernung über eine Eisspitze in einem mit feinem Olivenöle angefüllten cylindrischen Glase, ohne dafs die Eisspitze schmolz oder im mindesten verändert wurde.

289) Gegen die Behauptung, dafs alle Flüssigkeiten absolute Nichtleiter der Wärme seyen, erklärte sich Socquet[1], indem er theils die Beweiskraft der Versuche angriff, theils ihnen andere entgegensetzte, die zur Widerlegung dienten, Grimm[2] aus blofs oberflächlichen Gründen und Nicholson[3] in Gemäfsheit sinnreicher Versuche, die wir aber hier übergehn, um für andere, wohl noch wichtigere Raum zu gewinnen. Murray[4] brachte in einen hohlen Cylinder von Eis die Kugel eines empfindlichen, horizontal liegenden Thermometers so, dafs die Kugel sich in der Axe des Cylinders befand, gofs eine Schicht Mandelöl darüber, deren Oberfläche nur 0,25 Z. über die Kugel hervorragte, hing dann einen hohlen Cylinder von Eisenblech mit flachem Boden bis fast zur Berührung des Oels darüber auf und füllte diesen mit zwei Unzen siedenden Wassers. In 1,5 Min. stieg das Thermometer um 0°,41 C.; in 3 Min. um 1°,39; in 5 Min. um 2°,37; in 7 Min. um 3°,05, und wurde dann stationär. War die Oelschicht über der Kugel höher, so erfolgte das Steigen langsamer, aber selbst, wenn ihre Dicke 0,75 Z. betrug, stieg das Thermometer in 7 Min. um 0°,83 C. Quecksilber statt des Oels genommen gab gleiche Resultate, jedoch erfolgte das Steigen schneller, wodurch sich also diese Flüssigkeit nicht blofs als ein Leiter der Wärme, sondern auch als ein besserer in Vergleichung mit dem Oele zeigt. Aehnlich sind die Versuche von Traill[5], wodurch er zugleich das relative Leitungsvermögen der verschiedenen Flüssigkeiten aus der ungleichen Geschwindigkeit der durchströmenden Wärme auszumitteln suchte. Die Flüssigkeiten befanden sich, um Zuleitung von aufsen zu vermeiden, in einem hölzernen Gefäfse, in dessen Axe die Kugel eines horizontalen

1 Journ. de Phys. T. VI. p. 441. G. VI. 407.

2 G. VII. 361.

3 Dessen Journ. V. 197. Bibl. Brit. T. XVIII. p. 3.

4 System of Chimistry 3d ed. T. I. p. 305. Vergl. Nicholson's Journ. 8vo. T. I. p. 165 u. 241. G. XIV. 158.

5 Nicholson's Journ. T. XII. p. 137.

Thermometers 0,5 Z. unter der Oberfläche der Flüssigkeit zum Messen der Erwärmung diente. Die Oberfläche der Flüssigkeiten wurde dann mit einem bis zur Siedehitze erwärmten eisernen Cylinder berührt und die Zeit gemessen, binnen welcher das Thermometer um 1°,67 C. stieg. Hierzu waren erforderlich für

| | | |
|---|---|---|
| Quecksilber . . . . . | 0′ 15″ | |
| ges. Lös. von schwefelsaurer Soda . . . | 6 30 | |
| Wasser . . . . . . . | 7 5 | |
| Weingeist . . . . . . | 8 0 | |
| Eisenvitriol in 5 Th. Wasser . . . . . . | 8 1 | |
| zerflossene Pottasche | 8′ 15″ | |
| Kuhmilch . . . . . . | 8 25 | |
| ges. Alaunsolution . | 9 40 | |
| abs. Alkohol . . . . | 10 45 | |

Schon früher trat Thomas Thomson[1] als Gegner des aufgestellten neuen Gesetzes auf, wobei er zuerst die eigentliche Streitfrage sehr präcis feststellt, indem er die Behauptung, daſs sich die Wärme in den Flüssigkeiten vorzugsweise durch die Bewegung ihrer Theile verbreitet, als gültig zugesteht, die andere aber, wonach in ihnen bei völliger Ruhe ihrer Theile gar keine Fortpflanzung derselben statt finden soll, in Abrede stellt. Rumford fand, daſs Eis unter eiskaltem Wasser, wenn über letzteres eine Schicht heiſses gegossen wurde, schmolz, und leitete dieses davon her, daſs das zunächst unter dem heiſsen befindliche, um einige Grade erwärmte als specifisch schwerer herabsank; allein hieraus folgt doch nothwendig, daſs die nächsten tieferen kalten Wasserschichten von der oberen heiſsen Wärme annehmen muſsten, und wenn eine Schicht (ohne Mischung) Wärme von einer andern annimmt, so ist damit die Leitung von selbst gegeben. Mit gleichem Rechte zeigt er, daſs Rumford andere Resultate erhalten haben würde, wenn er statt einer Eisspitze ein Thermometer als weit empfindlicher gewählt hätte. Auſserdem aber stellte er directe Versuche an, indem er Quecksilber in eine tubulirte Retorte goſs, über dieses vorsichtig eine leichtere, gleich kalte, und hierüber dieselbe Fig. 54.
leichtere erhitzte so vorsichtig brachte, daſs keine Bewegungen entstanden. Aus dem Verhalten der drei Thermometer A, B

1 Nicholson's Journ. T. V. p. 529. G. XIV. 129.

und C ergab sich, dafs die Wärme von oben herab weder durch Strömungen verbreitet, noch an den Wandungen des Gefäfses herabgeführt, sondern durch die Masse des Quecksilbers geleitet wurde. Auf gleiche Weise prüfte er Wasser und Schwefelsäure, die sich gleichfalls als Wärmeleiter, wenn auch als sehr schlechte im Verhältnifs zum Quecksilber zeigten. John Dalton[1] blieb bei diesem Streite kein müfsiger Zuschauer, sondern stellte eine grofse Reihe vielfach modificirter Versuche an, aus denen unverkennbar hervorging, dafs sowohl Wasser als auch Quecksilber die Wärme leiten und unter sich gegenseitig austauschen, wenn gleich das Leitungsvermögen, namentlich das des Wassers, in Vergleichung mit festen Körpern ein sehr geringes ist; indefs ist dasselbe beim Eise noch ungleich geringer, denn als ein Eisstück, in dessen oberem Ende sich die Thermometerkugel befand, mit dem andern in eine kaltmachende Mischung getaucht wurde, sank das Thermometer erst nach geraumer Zeit um nicht mehr als 0°,28 C.

290) Während die genannten englischen Physiker den von Rumford aufgestellten Satz bestritten, waren auch einige unter den Deutschen nicht müfsig, und insbesondere liefs sich Parrot[2] angelegen seyn, das wichtige Problem einer umfassenden genauen Prüfung zu unterwerfen, die Rumford selbst im Interesse der Wahrheit gewünscht hatte[3]. Zuerst beleuchtete er mit kritischem Scharfsinn die angegebenen Versuche nebst der Gültigkeit der aus ihnen abgeleiteten Schlüsse, und wies die Unhaltbarkeit derselben aus Gründen nach, die zum Theil schon erwähnt worden sind und hier füglich übergangen werden können, da man dieselben gegenwärtig bei dem vorgerückten Stande der Wissenschaft leichter selbst auffinden kann. Die directen Versuche bezogen sich auf das Wärmeleitungsvermögen der Luft, des Wassers und des Quecksilbers, wozu ein eigens construirter Apparat verwandt wurde. Dieser bestand aus einer
Fig. 55. Glasröhre mit einer Fassung, auf einem Dreifufs vertical befestigt. Durch die Fassung ging die Röhre eines krummgebogenen Thermometers, dessen Kugel A so grofs war, dafs sie den inneren Raum der Röhre bis auf Papierdicke ausfüllte. Eben-

1 Mem. of the Soc. of Manchester. T. V. p. 473. G. XIV. 184.
2 G. XVII. 257.
3 Ebendaselbst XV. 241. 369.

dieses war der Fall bei dem eisernen Cylinder B, welcher in siedendem Wasser 5 Min. lang erhitzt, dann schnell abgetrocknet und an einem Drahte hängend in die Röhre herabgelassen wurde. Als sich in der Röhre Luft befand, stieg das Thermometer bei 1 Lin. Abstand des Cylinders von der Kugel in 7 Min. von 12°,9 R. bis 21°,3, bei 3 Lin. Abstand in 10 Min. von 13°,2 bis 18°,75, bei 6 Lin. Abstand in 10 Min. von 13°,8 bis 16°,3, bei 12 Lin. Abstand in 13 Min. von 13°,4 bis 14°,7. Als die Röhre mit Wasser so gefüllt war, daſs dieses durch den herabgelassenen Cylinder bis zur Oberfläche desselben hinaufgedrückt wurde, stieg das Thermometer bei 1 Lin. Abstand in 6 Min. von 14°,25 R. bis 24°,2, in 3 Lin. Abstand binnen 9 Min. von 14°,25 bis 21°,3, in 6 Lin. Abstand binnen 12 Min. von 14° bis 17°,7, in 12 Lin. Abstand in 15 Min. von 14°,25 bis 15°,35. Bei den Versuchen mit Quecksilber tauchte nur der dritte Theil des Cylinders in dieses Metall und das Thermometer stieg bei 1 Lin. Abstand in 2 Min. von 14°,3 bis 34°,4, bei 3 Lin. Abstand in 2 Min. von 14°,3 bis 30°,7, bei 6 Lin. Abstand in 3 Min. von 14°,2 bis 27°,4 und bei 12 Lin. Abstand in 6 Min. von 12°,6 bis 20°,9. Aus diesen Versuchen ergiebt sich, daſs Quecksilber ein guter, Wasser ein schlechter, Luft ein noch schlechterer Wärmeleiter sey; die gänzliche Abwesenheit des Leitungsvermögens bei Flüssigkeiten ist aber mit diesen Resultaten ganz unvereinbar. Inzwischen machte Parrot sich selbst den Einwurf, daſs die Wärme nicht durch die Flüssigkeit, sondern durch die Glasröhre geleitet worden seyn könne. In diesem Falle muſste die Wärme dann allerdings von der Seite zur Thermometerkugel gelangen und somit dennoch eine Leitung statt finden, allein Parrot begnügte sich hiermit nicht, sondern stellte einige neue Versuche an, bei denen er Quecksilber in die Röhre goſs, darüber etwas Wasser, zwischen welchem und dem heiſsen Cylinder eine dünne Luftschicht blieb, während der Boden des Cylinders in 3 Lin., also in gleichem Abstande von der Thermometerkugel, als in einem der früheren Versuche, sich befand. Hierbei muſste das Thermometer gleich schnell steigen, wenn die Wärme durch die Glasröhre und demnächst durch Strömungen fortgepflanzt worden wäre, allein es stieg in 6 Min. von 12°,5 nur bis 17°,3. In Gemäſsheit der übereinstimmenden Resultate dieser zweckmäſsig angelegten und mit

Genauigkeit ausgeführten Versuche darf man wohl die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten als erwiesen betrachten[1].

291) Nach einer geraumen Zwischenzeit wurde die Streitfrage zur endlichen Entscheidung gebracht durch Versuche, welche Despretz[2] anstellte, worin er allen den strengen Forderungen genügte, welche gegenwärtig an diejenigen gestellt werden, die sich der Lösung einer solchen Aufgabe unterziehn. Als Apparat diente ein langer hohler Cylinder, welcher aufrecht gestellt und mit mehreren Thermometern versehn wurde, deren Kugeln sich in der Axe des Cylinders befanden, während die horizontalen Röhren derselben mit ihren Scalen durch die Wandungen herausragten. Die Oberfläche des Wassers in dem genannten Cylinder berührte der Boden eines kupfernen Gefäfses mit siedendheifsem Wasser, welches durch eine geeignete Vorrichtung von 5 zu 5 Minuten erneuert wurde. Es ergab sich aus den erhaltenen Resultaten, dafs dann, wenn die so leicht entstehenden Strömungen vermieden werden, die Fortpflanzung der Wärme durch eine Wassersäule nach den nämlichen Gesetzen geschieht, als durch eine Metallstange. Obgleich dieses einfach aus theoretischen Gründen folgt und daher die Bestätigung desselben durch die Versuche nicht eigentlich auffallen konnte, so berücksichtigte dennoch Despretz die verschiedenen hiergegen vorgebrachten Einwendungen, und änderte daher seine Versuche in der Weise ab, dafs auch diesen dadurch begegnet wurde. Zu dem Ende wählte er einen weiteren Cylinder von 405 Millim. Durchmesser, 1 Met. Höhe und 28 Millim. Dicke der Wandungen. Aufser den Thermometern, deren Kugeln sich in der Axe des Cylinders befanden, brachte er noch eine zweite Reihe an, deren Kugeln nur 5 Millim. Abstand von der innern Seite der Wandungen hatten, und endlich eine dritte Reihe, deren Kugeln in die Wandungen selbst eingelassen, die Löcher aber mit Wachs verstopft waren, um den Einflufs der äufsern Luft abzuschneiden. Der unter sich

---

1 Einige Einwendungen Rumford's, hauptsächlich aus den *Löchern im Eise des Chamouni* hergenommen, in G. XVIII. 361 und Parrot's Widerlegung derselben ebendaselbst XXII. 148 übergehe ich.

2 L'Institut VI. Ann. N. 257 u. 285. Comte rendu 1838. T. VII. p. 933. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXI. p. 206. Poggendorff's Ann. XLVI. 340.

gleichmäſsige Abstand der ersten Reihe von Thermometern (deren Kugeln bis in die Axe des Cylinders ragten) von einander betrug 90 Millim., und um bei der schlechten Leitungsfähigkeit des Wassers dennoch zu genügenden Resultaten zu gelangen, dauerte die Versuchsreihe 60 Stunden, allein auch in dieser langen Zeit veränderten die untersten sechs Thermometer ihren Stand nicht, bloſs die oberen sechs zeigten das Gesetz der Wärmeleitung. Folgendes sind die erhaltenen Resultate:

| Abstand von der Wärmequelle | Stand der Thermometer im Centrum | 5 Millim. von der Wand | in der Wandung |
|---|---|---|---|
| 0,091 Met. | 42°,46 | 33°,45 | 25°,52 |
| 0,136 — — | 33,82 | | |
| 0,181 — — | 28,03 | 23,20 | 19,45 |
| 0,226 — — | 23,60 | | |
| 0,271 — — | 20,47 | 17,66 | 16,28 |
| 0,316 — — | 18,22 | | |

Die Formel für die Fortpflanzung der Wärme in einer metallenen Barre ist nach Poisson (vergl. §. 293):

$$u = A e^{-x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}} + B e^{x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}}$$

und für eine unendlich lange Barre:

$$u = A e^{-x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}},$$

worin u den Unterschied der Temperatur eines Punctes in der Entfernung x über die äuſsere, $\gamma$ die äuſsere, k die innere Leitungsfähigkeit bezeichnen, A und B aber Constanten sind. Die Beobachtungen geben folgende geometrische Reihe, wie sie sich in einer unendlich langen Barre zeigen würden:

| Temperaturen | Unterschied | Quotienten |
|---|---|---|
| 42°,46 C. | 29°,21 C. | 1,42 |
| 33,82 — | 20,57 — | 1,39 |
| 28,03 — | 14,78 — | 1,43 |
| 23,60 — | 10,35 — | 1,43 |
| 20,47 — | 7,22 — | 1,44 |
| 18,22 — | 5,03 — | |

Die äufsere Temperatur war in den letzten drei Stunden anhaltend 13°,25 C. Despretz prüfte mittelst dieser beiden ungleich weiten Cylinder auch das Verhältnifs ihrer Durchmesser und den Quotienten der geometrischen Progressionen, die sie für endliche Gröfsen zeigten. Nach Poisson N. 125 findet hierbei für metallene Barren das Gesetz statt, dafs $\frac{\text{Log.}\,q}{\text{Log.}\,q'} = \sqrt{\frac{D'}{D}}$, wenn q und q′ die Quotienten, D und D′ die Durchmesser bezeichnen. Die Versuche gaben $\frac{\text{Log.}\,q}{\text{Log.}\,q'} = 1{,}34$ und $\sqrt{\frac{D'}{D}} = 1{,}36$. Rücksichtlich der eigentlichen Frage ist durch diese Versuche wohl evident entschieden, dafs das Wasser allerdings nicht blofs die Wärme durch seine Masse fortleite, sondern hierbei auch den nämlichen Gesetzen, als feste Körper, unterliege. Ueber andere Flüssigkeiten ist zwar nichts dadurch bestimmt, allein aus der Uebereinstimmung, welche sämmtliche Flüssigkeiten in den vielen andern Versuchen gezeigt haben, dürfen wir mit Grunde schliefsen, dafs sie sich auf gleiche Weise als das Wasser verhalten. Dieses führt uns dann zu dem wichtigen Resultate, dafs die Fortpflanzung der Wärme durch tropfbare Flüssigkeiten nach den nämlichen Gesetzen geschieht, als durch feste Körper. Berücksichtigen wir die aus zahlreichen Versuchen hervorgehenden Resultate über die Fortpflanzung der Wärme in den Gasarten, vorausgesetzt, dafs die Bewegungen in denselben dabei keinen Einflufs ausüben, so erstreckt sich die Folgerung noch weiter und führt zu dem allgemeinen Satze, dafs die Fortpflanzung der Wärme in allen Körpern, sowohl expansibelen, als auch tropfbar flüssigen und festen, nach dem nämlichen Gesetze geschieht, wobei jedoch gleiche Räume nach dem verschiedenen Leitungsvermögen der Körper sehr ungleiche Zeiten erfordern, und zwar in der Art, dafs für grofse Abstände bei schlecht leitenden Substanzen, als tropfbaren und insbesondere elastischen Flüssigkeiten, unendlich lange Zeiten erforderlich seyn würden. Machen wir endlich eine Anwendung auf den leeren Raum, von der Thatsache ausgehend, dafs die Geschwindigkeit der Leitung mit der Dichtigkeit der expansibelen Flüssigkeiten abnimmt, so führt uns dieses zu dem Schlusse, dafs die Him-

melskörper, welche durch Tausende von Meilen von einander getrennt sind, ihre Wärme wechselseitig auszutauschen nicht vermögen, weil hierzu eine unendlich lange Zeit erforderlich seyn würde[1]. Hypothetisch könnten wir hinzusetzen, dafs ein absolutes Vacuum gar nicht existirt, sofern Dämpfe und Aetherarten, namentlich der Lichtäther, überall verbreitet sind, deren Leitungsvermögen jedoch ihrer Dichtigkeit proportional, also verschwindend gering seyn müfste[2].

### β) Fortpflanzung der Wärme in festen Körpern.

292) Die Fortpflanzung der Wärme in festen Körpern hat man, wie alle Erscheinungen ihrer Aufnahme, Abgabe und Verbreitung, unter dem gemeinschaftlichen Namen der *Wärmeleitung* zusammengefafst. Dieser Mangel an Trennung der verschiedenartigen Erscheinungen hatte zur Folge, dafs die schlechtesten Wärmeleiter zugleich auch die besten seyn sollten, wie sich auffallend aus der (§. 260) mitgetheilten Tabelle ergiebt. Die Sache ist übrigens leicht begreiflich. Es versteht sich nämlich von selbst, dafs diejenigen Körper, welche die Wärme am wenigsten durch Attraction binden und daher am schwierigsten von einem Elemente zum andern übergehn lassen, sie auch am leichtesten abgeben (ein Verhalten, welches im Abschnitte *Strahlung* untersucht worden ist) und sich somit als die besten Wärmeleiter in diesem Sinne zeigen. Die mit den entgegengesetzten Eigenschaften versehenen Körper geben die Wärme schwer ab, erscheinen demnach als schlechte Wärmeleiter, nehmen sie dagegen begierig auf und führen sie sowohl leicht als schnell von einem ihrer Theilchen zum andern, sind also in dieser Beziehung gute Wärmeleiter. In diesem Abschnitte ist blofs von der Fortpflanzung der Wärme im Innern fester Körper die Rede.

---

1 Diese Annahme würde gleichfalls am besten zu der §. 372 hypothetisch aufgestellten Theorie passen.

2 Es ist wohl zu merken, dafs der Durchgang der *strahlenden* Wärme, wovon unter Nr. 3 die Rede seyn wird, ganz verschiedenen Gesetzen folgt; namentlich geht die strahlende Wärme nach Melloni nicht durch Wasser, obgleich dieses nach den angegebenen Versuchen ein Leiter, wenn auch ein sehr schlechter, der gewöhnlichen Wärme ist.

Die ungleiche Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper zeigt sich täglich in zahlreichen Erscheinungen. Legt man das eine Ende gleich langer Stangen von Metall, Glas und etwa Pfeifenthon ins Feuer, so wird die Wärme in sehr ungleichen Zeiten sich auf gleiche Entfernungen verbreiten; man kann eine Glasstange und ein Pfeifenrohr wenige Zoll von ihrem glühenden Ende entfernt mit den Fingern ohne Nachtheil berühren, während die Metallstange hierzu eine zu hohe Temperatur angenommen hat. Die Körper müssen sich hierbei in einer kälteren Umgebung befinden, werden daher stets Wärme durch Strahlung verlieren, und es mufs demnach bei allen eine gewisse Entfernung von der Wärmequelle, aus welcher ihnen Wärme zuströmt, statt finden, in welcher die Menge der zugeführten Wärme der abgegebenen gleich ist, mithin kein Ueberschufs derselben mehr existirt; allein diese Entfernungen sind bei den verschiedenen Körpern ihrem Leitungsvermögen umgekehrt proportional. Die genaue Erörterung der Aufgabe zerfällt also in zwei Untersuchungen, zuerst welche Körper die Wärme am schnellsten fortleiten, und zweitens nach welchen Gesetzen diese Leitung überhaupt geschieht.

293) Ingenhouss[1] steckte gleich dicke und gleich lange Drähte verschiedener Metalle durch eine Scheibe, überzog sie oberhalb derselben mit Wachs und tauchte ihre unteren Enden in Oel, welches bis etwa zur Siedehitze des Wassers erwärmt war; die Höhe, bis zu welcher das Wachs in der nämlichen Zeit schmolz, gab ihm das Verhältnifs des Leitungsvermögens. Hiernach erhielt er aus 12 Versuchen im Mittel für die gangbaren Metalle folgende Reihe ihres abnehmenden Leitungsvermögens: Silber, Kupfer, Gold und Zinn gleich, Eisen, Stahl, Blei. Ure[2] wiederholte diese Versuche und erhielt folgende Reihe: Silber, Kupfer, Messing, Eisen und Zinn gleich, Gufseisen, Zink, Blei.

In neuerer Zeit hat man nicht blofs die *relative Leitungsfähigkeit* der verschiedenen Körper, sondern auch das *Gesetz* dieser Fortpflanzung auszumitteln gesucht. Zuerst ge-

---

1 Journ. de Phys. T. XXXIV. p. 68. Nouvelles Expér. p. 380. Verm. Schriften. Ueb. von Molitor. Wien 1784. Th. II. S. 343. Gren's Journ. d. Phys. Th. I. S. 154.

2 Herschel in Encycl. Met. Art. Heat. p. 299.

schah dieses durch Rumford[1], indem er das eine Ende einer eisernen Stange in ein mit kochendem Wasser, das andere in ein mit Eis gefülltes Gefäfs führte, in der Stange selbst aber drei gleich weit von den Enden und von einander abstehende Löcher anbrachte, in welche er etwas Quecksilber zur besseren Leitung gofs und in dieses die Kugeln dreier feiner Thermometer einsenkte. Er erwartete, dafs das mittlere derselben auch die mittlere Wärme der beiden andern angeben müsse, wonach das Gesetz der Fortleitung durch eine gerade Linie ausgedrückt würde, allein nach dem *Newton'schen Gesetze* mufs diese Linie eine logarithmische Curve seyn. Die theoretische Entwickelung dieses Gesetzes in Beziehung auf das vorliegende Problem gab zuerst Biot[2], welcher zugleich einige Versuchsreihen zu

---

1 G. XVII. 222.

2 Ebendaselbst XVII. 231. Ausführlicher in Traité de Phys. T IV. p. 668. Vergl. Haüy in Journ. des Mines T. XVII. p. 203. Playfair in Edinb. Phil. Trans. T. VI. p. 355. Handelt es sich um diese Aufgabe im Allgemeinen, so erstreckt sich die Untersuchung auf die Verbreitung der Wärme im Raume überhaupt, ein namentlich von französischen Gelehrten mehrmals und mit grofsem Aufwande analytischer Kunst behandeltes Problem. Dahin gehört zuerst Lambert i seiner Pyrometrie, dann aber wurde die Aufgabe weit ausführliche und gründlicher behandelt durch Biot in Mém. sur la propagation de la chaleur. Par. 1804, vergl. Bibl. Brit. T. XXVII., demnächst vo Fourier in Mém. sur la chaleur. Par. 1807 und in seiner Preisschrift von 1812 in Mém. de l'Acad. des Sc. T. IV u. V. und abermals i Théorie analytique de la chaleur. Par. 1822. 4. Gleichzeitig finden wir dasselbe behandelt durch Laplace in Connaissance des Temps 182 und in Méc. cél. Liv. XI. übereinstimmend mit Fourier. Durch ein verschiedene Analyse gelangte Poisson zu demselben Resultate in einem eigenen Mémoire in Journal de l'École polytechnique Cah. 19. un ausführlicher in Théorie mathématique de la Chaleur. Par. 1835. 4 Es würde einen nicht angemessenen zu grofsen Raum erfordern, wollten wir hier auf diese ausführlichen Untersuchungen eingehn, auf di wir daher nur verweisen. Noch gehört hierher ein Mém. von Dulong und Petit in Journ. de l'École polytechnique Cah. 18, worauf sich Lamé in seiner Untersuchung über die Verbreitung der Wärme in einem Ellipsoide bezieht. L'Institut 1re Ann. Nr. 7. Cauchy in Exerc. T. III p. 121 u. 146 zeigt, dafs man auf einfache Weise zu einem allgemeinen Ausdrucke über die Verbreitung der Wärme im Raume überhaupt gelangen könne. Ihm ist die Wärme eine Flüssigkeit, deren jedes Theilchen sich von einem durch die Coordinaten (x, y, z) gegebenen Puncte nach derjenigen Richtung bewegt, nach welcher die Dichtigkeitsabnahme der Wärme die stärkste ist, und die Menge der-

Fig 56 Prüfung desselben anstellte. Denkt man sich eine metallene Stange AB von so geringer Dicke, daſs die Wärme in allen Puncten ihrer Querschnitte als gleichmäſsig hoch zu betrachten ist, das eine Ende A in eine beständige Wärmequelle eingesenkt, das

---

selben, welche während des Zeitelementes $\partial t$ durch ein Flächenelement geht, welches lothrecht auf diese Richtung ist, muſs dieser Abnahme der Dichtigkeit proportional seyn, bedingt durch die Leitungsfähigkeit dieses Punctes. Es sey dann durch diesen Punct ein Flächenelement s gelegt, auf dieses werde ein Perpendikel gefället, welches die Winkel $\lambda$, $\mu$, $\nu$ mit den rechtwinkeligen Axen x, y, z bildet, k sey das Leitungsvermögen des Punctes und $\varrho$ die Dichtigkeit der Wärme, so ist die Wärmemenge, welche während des Zeitelementes $\partial t$ durch das Flächenelement s geht, gegeben durch den Ausdruck:

$$-k\left(\text{Cos.}\,\lambda\frac{\partial\varrho}{\partial x}+\text{Cos.}\,\mu\,\frac{\partial\varrho}{\partial x}+\text{Cos.}\,\nu\,\frac{\partial\varrho}{\partial z}\right).$$

Gehört s der äuſsern Oberfläche eines festen Körpers an, ist die Temperatur desselben $=\varrho$, die äuſsere $=\sigma$ und die Wärmemenge, die während des Zeitelementes $\partial t$ durch s geht, $=\varrho-\sigma$, so hat man:

$$-k\left(\text{Cos.}\,\lambda\frac{\partial\varrho}{\partial x}+\text{Cos.}\,\mu\,\frac{\partial\varrho}{\partial y}+\text{Cos.}\,\nu\,\frac{\partial\varrho}{\partial z}\right)=K(\varrho-\sigma),$$

worin K den Strahlungscoefficienten der Oberfläche bezeichnet. Dieser Ausdruck ist also auch auf die oben abgehandelte Strahlung anwendbar. Ist die Temperatur des äuſseren umgebenden Mediums $=0$, so hat man:

$$\text{Cos.}\,\lambda\,\frac{\partial\varrho}{\partial x}+\text{Cos.}\,\mu\,\frac{\partial\varrho}{\partial y}+\text{Cos.}\,\nu\,\frac{\partial\varrho}{\partial z}+\frac{K}{k}\varrho=0.$$

Endlich findet unter denselben Voraussetzungen die bekannte Formel statt:

$$\frac{\partial\varrho}{\partial t}=k\left(\frac{\partial^2\varrho}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varrho}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varrho}{\partial z^2}\right).$$

In der Allgemeinheit, wie dieses Problem durch Fourier, Poisson und Andere nach ihnen aufgefaſst worden ist, bezieht es sich auf die Aufgabe, den veränderlichen und endlichen Zustand der Temperatur eines gegebenen Punctes im Innern eines homogenen Körpers von gegebener Form zu bestimmen, dessen Oberfläche constanten Wärmequellen ausgesetzt ist oder in eine Umgebung von bekannter Temperatur Wärme ausstrahlt, berechnet für gerade Cylinder mit kreisrunder Grundfläche, für die Kugel und wenig von der Kugelform abweichende Körper, für senkrechte Prismen mit rechteckiger Basis, für dreiseitige regelmäſsige Prismen u. s. w. Besondere Formeln sind dann für Körper und Hüllen von Oberflächen des zweiten Grades begrenzt erforderlich.

andere unendlich verlängert, in der Stange aber Thermometer auf die angegebene Weise eingesenkt und durch einen Schirm gegen den Einfluſs der Wärme in A geschützt, so wird von drei in ihr angenommenen Querschnitten der eine m in jedem Zeitelemente Wärme von dem vorderen $'m$ empfangen und an den folgenden $m'$ abgeben somit also ein Thermometer bei m, sofern es weniger warm ist, als ein Thermometer in $'m$, und weniger Wärme an $m'$ abgiebt, als es von $'m$ erhält, zuletzt die Wärme der Quelle selbst annehmen, welches aber erst in einer unendlich langen Zeit geschehn könnte. Allein es tritt hierbei zugleich der Einfluſs der Strahlung als bedingend ein, indem jedes der Thermometer an die Umgebung, so lange diese nicht von gleicher Temperatur ist, Wärme abgiebt. Hiernach muſs also das Steigen des Thermometers m aufhören, sobald die Wärme, welche es von $'m$ erhält, derjenigen gleich ist, die es an $m'$ abgiebt und die es durch Strahlung verliert, so daſs dasselbe dann stationär wird. Heiſst dann (y) die Temperatur der Umgebung und y + (y) die Temperatur der Barre zur Zeit t in demjenigen Querschnitt, welcher der Abscisse x zugehört, die von jedem Puncte seiner Länge an genommen werden kann, so ist die Differentialgleichung, welche das dem Differential der Zeit zugehörige Differential der Temperaturänderung bezeichnet:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = a \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - b y .$$

Hierin bezeichnen a und b Constanten, die für die ganze Länge unveränderlich sind; b bezeichnet die Geschwindigkeit der freien Abkühlung eines jeden Punctes der Oberfläche für sich betrachtet, a dagegen ist der Coefficient, welcher sich auf die Mittheilung der Temperaturen zwischen den Elementen des Körpers bezieht und mit der Schnelligkeit dieser Mittheilung wächst. Ist die Temperatur der Barre stationär geworden, so ändern sich die Temperaturen nicht mehr, $\frac{\partial y}{\partial t}$ wird 0 und die Gleichung heiſst

$$a \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - b y = 0,$$

deren vollständiges Integral ist:

$$y = A\, 10^{-\frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}} + B\, 10^{\frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}} .$$

Hierin bezeichnet M den Modulus der gemeinen Logarithmen = 2,302585, A und B aber Constanten, die durch Versuche bestimmt werden. Denken wir uns den einfachen Fall, dafs das eine Ende der Barre in einer constanten Temperatur = (y) + Y erhalten würde, das andere Ende aber so weit entfernt wäre, um den Einflufs von y unmerkbar zu machen, so würde für x = 0 auch y = Y werden und man hätte A = Y, welches substituirt

$$y = Y\,10^{-\frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}},$$

also

$$\text{Log.}\,y = \text{Log.}\,Y - \frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}$$

giebt, woraus y gefunden werden kann, wenn a und b bekannt sind. In den meisten Fällen ist dieses nicht der Fall, vielmehr müssen sie durch Versuche gefunden werden.

294) Biot stellte mehrere Reihen von Versuchen an, von denen er einige mittheilt, die in mehrfacher Hinsicht interessante Resultate gaben. Barren von verschiedenen Metallen, in welche mehrere Thermometerkugeln in gleich weit abstehende Vertiefungen mit Quecksilber gefüllt eingesenkt waren, wurden am einen Ende mit einer Wärmequelle (durch eine Weingeistlampe erhitztes Oel oder Quecksilber) von gleichbleibender Temperatur verbunden, und waren so lang, dafs die Wärme nicht bis zum andern Ende gelangte; der Versuch wurde dann so lange fortgesetzt, bis die Temperatur sämmtlicher Thermometer eine genügende Zeit stationär blieb. Eine eiserne Barre wurde am einen Ende in Quecksilber von 82° R. Wärme getaucht, die äufsere Luft war 13° R., also Y = 82 — 13 = 69, und die 8 Thermometer hatten folgende Abstände von der Wärmequelle in Decimetern:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nr. 1 | Abstand | 2,115 | Nr. 5 | Abstand | 5,902 |
| — 2 | — | 3,115 | — 6 | — | 7,777 |
| — 3 | — | 4,009 | — 7 | — | 9,671 |
| — 4 | — | 4,970 | — 8 | — | 11,556 |

Der Abstand des Endes betrug 27,342 Centim. Um durch die Ungewifsheit der Wärme des Metalls dicht bei der Wärme-

quelle keine Irrthümer einzuführen, wurde Y als unbekannt aus dem Stande des ersten und dritten Thermometers gefunden. Hiernach war

für Nr. 1 ... $y' = 23^\circ{,}5$ ... $x' = 2{,}115$
für Nr. 3 ... $y'' = 9{,}0$ ... $x'' = 4{,}009$

Diese Gröfsen in die Gleichung eingeführt geben folgende Werthe:

$$\text{Log.}\,y' = \text{Log.}\,Y - \frac{x'}{M}\sqrt{\frac{b}{a}};\quad \text{Log.}\,y'' = \text{Log.}\,Y = \frac{x''}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}.$$

Eliminirt giebt

$$\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = \frac{\text{Log.}\,y' - \text{Log.}\,y''}{x'' - x'};\quad \text{Log.}\,Y = \frac{x''\,\text{Log.}\,y' - x'\,\text{Log.}\,y''}{x'' - x'}$$

und in Zahlen

$$\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = 0{,}2200767;\quad \text{Log.}\,Y = 1{,}8355310;\quad Y = 68^\circ{,}475.$$

Der hier gefundene Werth von $Y = 68^\circ{,}475$ weicht so wenig von dem unmittelbar durch Messen gefundenen $= 69$ ab[1], dafs die zugleich erhaltenen Constanten a und b als richtig gelten, und also die Temperaturen $y$, $y'$, $y''$ ..... für die Abscissen $x$, $x'$, $x''$ ..... oder die Temperaturen der Querschnitte des Metalls in gegebenen Entfernungen von der Wärmequelle nach der Formel:

$$\text{Log.}\,y = \text{Log.}\,Y - \frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}$$

sich mit Sicherheit berechnen lassen. Die folgende Tabelle enthält die beobachteten und die berechneten Werthe von y.

---

1 Biot bemerkt nur, dafs beide Werthe nicht um voll $0^\circ{,}5$ R. von einander abweichen; es liegt aber sehr nahe bei der Sache, dafs eine völlige Uebereinstimmung eher gegen, als für die Genauigkeit der Versuche entscheiden würde. Die eiserne Barre verlor anhaltend durch Strahlung und selbst ihr eingetauchtes Ende konnte daher die volle Wärme des heifsen Quecksilbers nicht annehmen, auch diejenige nicht, die das eingetauchte kürzere und schlechter leitende Thermometer anzeigte. Darum sind auch die Differenzen der folgenden Tabelle meistens negativ.

Y — y

| Reihe der Thermometer | beobachtet | berechnet | Unterschiede |
|---|---|---|---|
| Nr. 0 | 69°,00 | 68°,48 | —0°,52 |
| — 1 | 23,50 | 23,50 | 0,00 |
| — 2 | 14,00 | 14,16 | + 0,16 |
| — 3 | 9,00 | 9,00 | 0,00 |
| — 4 | 5,75 | 5,55 | — 0,20 |
| — 5 | 3,75 | 3,45 | — 0,30 |
| — 6 | 1,75 | 1,33 | — 0,42 |
| — 7 | 1,00 | 0,51 | — 0,49 |
| — 8 | unmerklich | unmerklich | |

Das achte Thermometer in 11,556 Decimeter Abstand von der Wärmequelle wurde nicht mehr merklich afficirt. Man könnte also fragen, wie heiſs eine Wärmequelle seyn müſste, um ein Thermometer in einer gewissen Entfernung, wir nehmen zwei Meter, um 1° R. noch steigen zu machen. In diesem Falle ist y = 1 und Log. y = 0, x = 20 Decimeter, und die Formel

$$\text{Log. } y = \text{Log. } Y - \frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} \text{ wird Log. } Y = \frac{20}{M}\sqrt{\frac{b}{a}},$$

woraus für die gefundenen Constanten a und b der Werth von Y = 25208° R. gefunden wird. Hiernach wäre es also unmöglich, eine Hitze zu erzeugen, wodurch eine 2 Meter lange Eisenstange, ungeachtet der groſsen Leitungsfähigkeit der Metalle, um 1° R. an ihrem äuſsersten Ende erwärmt werden könnte.

Bei einem Versuche mit einer andern, von der ersten verschiedenen Eisenstange, wobei Y = 191°,9 R. war, wurde der Coefficient $\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = 0{,}2197849$ von dem vorigen so wenig abweichend gefunden, daſs man ihn für Eisen füglich allgemein = 0,22 annehmen kann. Bei Kupfer, worin 14 Thermometer eingesenkt waren und Y = 246°,524 betrug, wurde $\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = 0{,}0882726$ gefunden.

295) Später stellte Despretz[1] einige Versuche mit ver-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XIX. Dessen Traité élément. de Phys.

schiedenen Metallen und andern Körpern in der Gestalt von quadratischen Prismen an, die auf gleiche Weise mit eingesenkten Thermometern versehn waren, deren eines Ende aber durch eine untergesetzte Lampe erwärmt wurde. Die Barren waren alle von gleichen Dimensionen, die Seite des quadratischen Querschnittes betrug 21 Millim., die 10 Centimeter von einander abstehenden Vertiefungen hatten 6 Millim. Durchmesser und reichten bis zu einer Tiefe von $\frac{2}{3}$ des Durchmessers der Barren hinab. Vor allen Dingen wurde gesorgt, daſs der Stand der Thermometer sich nicht mehr veränderte, welches 3 Stunden, der ganze Versuch aber 6 Stunden Zeit erforderte[1], und nicht minder dafür, daſs die äuſsere Temperatur sich nicht veränderte.

*Kupfer.* Aeuſsere Temperatur 17°,08 C.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thermometer | zeigte | 83°,44. | Ueberschuſs | 66°,36 |
| 2 | — | — | 63,36 | — | 46,28 |
| 3 | — | — | 49,70 | — | 32,62 |
| 4 | — | — | 41,40 | — | 24,32 |
| 5 | — | — | 35,71 | — | 18,63 |
| 6 | — | — | 33,26 | — | 16,18 |

Die Abstände der Thermometer bildeten eine arithmetische Reihe, die Abnahmen der Temperaturen eine geometrische, worin eine Bestätigung des *Newton'schen Gesetzes* liegt. Die Quotienten der auf einander folgenden Gröſsen sind = 1,4; 1,4; 1,4.

*Eisen.* Aeuſsere Temperatur 13°,02 C.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thermometer | zeigte | 75°,92. | Ueberschuſs | 62°,90 |
| 2 | — | — | 49,71 | — | 36,69 |
| 3 | — | — | 33,54 | — | 20,52 |
| 4 | — | — | 25,34 | — | 12,32 |
| 5 | — | — | 21,21 | — | 8,19 |
| 6 | — | — | 19,63 | — | 6,61 |

---

Paris 1825. 8. p. 195. Später Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 422. Poggendorff's Ann. XII. 281.

1 Es ist bei diesen Versuchen zu bedauern, daſs die Barren nicht hinlänglich lang waren, um den Einfluſs der Erwärmung auf die entferntesten Thermometer = 0 zu machen.

*Zinn.* Aeufsere Temperatur 17°,34 C.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thermometer | zeigte | 80°,75. | Ueberschufs | 63°,41 |
| 2 | — | — | 52,51 | — | 35,17 |
| 3 | — | — | 38,86 | — | 21,52 |
| 4 | — | — | 32,36 | — | 15,52 |

*Zink.* Aeufsere Temperatur 5°,62 C.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thermometer | zeigte | 69°,76. | Ueberschufs | 64°,17 |
| 2 | — | — | 43,64 | — | 38,02 |
| 3 | — | — | 31,05 | — | 25,43 |
| 4 | — | — | 23,55 | — | 17,93 |

*Blei.* Aeufsere Temperatur 17°,12 C.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thermometer | zeigte | 82°,25. | Ueberschufs | 65°,13 |
| 2 | — | — | 46,54 | — | 29,42 |
| 3 | — | — | 32,05 | — | 14,93 |
| 4 | — | — | 27,11 | — | 9,99 |

*Marmor.* Aeufsere Temperatur 17°,15 C.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thermometer | zeigte | 81°,06. | Ueberschufs | 63°,91 |
| 2 | — | — | 23,23 | — | 6,08 |
| 3 | — | — | 19,10 | — | 1,95 |
| 4 | — | — | 18,62 | — | 1,47 |

Despretz bemerkt, dafs nur bei gut leitenden Substanzen und solchen von homogener Beschaffenheit ihrer Theile die Abnahmen der Wärme eine geometrische Reihe bilden. Für Blei, als einen schlechten Leiter, sind daher die Quotienten $\frac{65,13}{29,42} = 2,21$; $\frac{29,42}{14,93} = 1,97$; $\frac{14,93}{9,99} = 1,49$; für Marmor $\frac{63,91}{6,08} = 10,51$; $\frac{6,08}{1,95} = 3,12$; $\frac{1,95}{1,47} = 1,32$. Das Newton'sche Gesetz würde also für solche Körper nicht gültig seyn. Es scheint mir jedoch, als seyen zuvor noch wiederholte und sehr genaue Versuche erforderlich, ehe wir diese Behauptung für gegründet annehmen, um so mehr, als sie mit den durch Bischof erhaltenen Resultaten (§. 254) nicht im Einklang steht. Je schlechter ein Körper leitet, desto längere Zeit wird erfordert, ehe die Thermometer stationär werden, und hierin, so wie auch in der nicht genügenden Länge der Barren scheint der Grund der bemerkten Anomalie zu liegen. Auf jeden Fall

ist es nicht wahrscheinlich, dafs dieses Gesetz nicht mindestens für Blei statt finden sollte, da Despretz dasselbe sogar beim Wasser bestätigt fand (§. 291) und die durch De la Rive und Decandolle selbst für Holz nach den Längenfibern erhaltenen Gröfsen nicht sehr davon abweichen (§. 297). Für Barren der nämlichen Substanz, aber von ungleichen Dicken, fand Despretz das Gesetz, dafs die Entfernungen von der Wärmequelle, wo die Thermometer eine gleiche Temperatur erhalten, den Quadratwurzeln der Durchmesser proportional sind, woraus hervorgeht, warum man einen dünnen Draht so wenig entfernt von einer Stelle, wo er glüht, mit den Fingern halten kann. Despretz hat aus seinen Versuchen folgende *relative Leitungsfähigkeiten* gefunden, indem er zur Berechnung die von Fourier entnommene Gleichung anwandte, wonach das Wärmeleitungsvermögen $k = \frac{1}{(\mathrm{Log.}\,x)^2}$ ist, x aber aus der Gleichung $\frac{x^2+1}{x} = q$ bestimmt wird, in welcher q der Quotient aus der Division der Summe zweier Ueberschüsse durch den zwischenliegenden Ueberschufs ist.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gold . . . . | 10000 | Zinn . . . . . | 3039 |
| Platin . . . . | 9810 | Blei . . . . . | 1796 |
| Silber . . . . | 9730 | Marmor . . . | 236 |
| Kupfer . . . | 8982 | Porcellan . . . | 122 |
| Eisen . . . . | 3713 | Ziegel und Ofenmasse | 114 |
| Zink . . . . | 3630 | | |

Die Hölzer fand er so schlecht leitend, dafs er keine Versuche auf die angegebene Weise damit anzustellen vermochte.

296) N. W. Fischer[1] erhebt einige nicht ungegründete Zweifel gegen die hier gefundene Reihenfolge der Metalle, namentlich dafs das Gold obenan steht und noch mehr wegen des Ortes, den das Platin einnimmt, welches über das Kupfer gesetzt wird. Ingenhouss (§. 293) setzt das Gold dem Zinne gleich, und ähnliche Versuche, welche Fischer selbst, nur nicht mit reinem, sondern mit gewöhnlich legirtem Golde anstellte, geben diesem den Rang unter dem Kupfer, dem Platin aber den

1 Poggendorff's Ann. XIX. 507.

Rang unter allen von ihm geprüften Metallen. Die hierbei angewandte Methode bestand theils darin, daſs dünne, einander gleiche Streifen der Metalle gleichzeitig zwischen den Fingern gefaſst und mit dem einen Ende in eine Weingeistflamme gehalten wurden, um die erhaltene Hitze durch das Gefühl mit Rücksicht auf die ungleiche Entfernung der Stelle, wo sie berührt werden konnten, zu schätzen, theils daſs die Streifen mit Wachs überzogen in siedendes Wasser getaucht wurden, um das Leitungsvermögen aus der Höhe, bis zu welcher der Ueberzug in gleichen Zeiten schmolz, zu entnehmen[1]. Nach den durch letzteres Verfahren erhaltenen Resultaten bilden die Metalle folgende Reihe: Silber, Kupfer, Gold, Palladium, Platin.

297) Den Genfer Gelehrten August de la Rive und Alphons Decandolle ist es gelungen, das Gesetz der Wärmeleitung einiger Holzarten nicht bloſs im Allgemeinen, sondern auch mit Rücksicht auf die Richtung ihrer Fasern, ob diese nach der Länge oder nach ihrem Querschnitt leiten, mit groſser Genauigkeit aufzufinden[2]. Sie bedienten sich hierzu parallele-

---

1 Fischer setzt das durch Ingenhouss gewählte Verfahren dem durch Despretz angewandten weit nach, aber, wie mir scheint, mit Unrecht. Allerdings kann das *Gesetz der Wärmefortpflanzung* nur durch letzteres gefunden werden, allein dann müssen die Versuche so angestellt werden, wie durch Biot geschah, denn eine constante Temperatur der Wärmequelle und hinlängliche Länge der Barren, um bis zum Nullpuncte der Fortpflanzung zu messen, sind unerläſsliche Bedingungen, deren erste mit einer Flamme, die mit ungleicher Intensität brennt, durch den Luftzug hin und her bewegt wird und der Bedingung des neben ihr aufsteigenden Luftzuges unterliegt, nicht zu erreichen steht. Auſserdem muſsten, wie bereits bemerkt worden ist, die Versuche weit länger fortgesetzt werden, als durch Despretz geschah, um des stationären Standes der Thermometer mit Gewiſsheit versichert zu seyn. Handelt es sich dagegen bloſs um die Auffindung des relativen Leitungsvermögens, so verdient die ältere Methode offenbar den Vorzug, wie aus den mechanischen Gesetzen der Bewegung unwidersprechlich folgt. Inzwischen müssen die Stangen alle gleich dick und hinlänglich lang, zugleich auch mit einem gleichen geeigneten Ueberzuge bedeckt seyn, um die Strahlung zu beseitigen, und das Eintauchen muſs in heiſses Oel geschehn, um eine neue nachtheilige Bedingung durch den Einfluſs der Dämpfe zu vermeiden.

2 Mémoires de la Soc. de Phys. de Génève. T. IV. p. 70. Bibl.

pipedischer, 13 Centim. langer, 4 Centim. breiter und 27 Millim. dicker Stücke von trocknem Holze. Auf der breiten Seite waren 3 Centim. vom einen Ende anfangend in Abständen von 2 Centim. fünf Löcher, 7 Millim. weit und bis in die Mitte reichend, eingelassen, in deren jedes Quecksilber gegossen, in dieses eine Thermometerkugel gesenkt und die Oberfläche mit Hexenmehl bestreuet wurde, um die Strahlung zu verhindern (?). Das Ende des Holzstabes war in eine Hülse von Weiſsblech gesteckt, ungefähr 2,5 Centim. lang, um auch das erste Loch nicht zu bedecken; unter diese Hülse wurde eine Weingeistlampe gestellt, und um den sonstigen Einfluſs der Flamme abzuschneiden, dienten Glasstreifen, die nach ihrer Erwärmung durch andere ersetzt wurden. Nach einer oder zwei Stunden hatten die Thermometer ihr Maximum erreicht, der Versuch galt aber nicht früher für beendigt, als bis sie 10 bis 15 Min. stationär gewesen waren. Folgendes sind die Resultate dieser Versuche.

| Hölzer | Thermometer nach Abzug der äuſsern Temperatur. Nr. 1 | Nr. 2 | Nr. 3 | Nr. 4 | Nr. 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Weiſsdorn. Längenfibern | 83°,00 | 45°,00 | 21°,20 | 9°,20 | 4°,40 |
| Nuſsbaum . – – | 80,13 | 43,00 | 19,63 | 9,19 | 5,13 |
| Eiche . . . . – – | 81,70 | 41,20 | 17,50 | 7,20 | 3,70 |
| Tanne . . . – – | 84,00 | 39,25 | 20,60 | 8,50 | 3,70 |
| Pappel . . . – – | 79,80 | 34,20 | 14,20 | 6,20 | 2,80 |
| Nuſsbaum. Querfibern . | 99,50 | 37,42 | 13,19 | 6,00 | 3,25 |
| Eiche . . . – – | 79,30 | 22,75 | 7,50 | 3,60 | 2,40 |
| Tanne . . - - | 70,90 | 13,80 | 4,50 | 2,50 | 1,90 |
| Kork . . . – – | 78,50 | 13,75 | 3,44 | 1,56 | 1,00 |

Werden diese Grade des Centesimalthermometers und zwar immer die folgenden in die vorhergehenden dividirt, so giebt dieses folgende Quotienten:

---

univ. T. XXXIX. p. 206. Poggendorff's Ann. XIV. 590. Wiener Zeitschrift. Th. V. S. 330.

| Hölzer | Quotienten | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1ste | 2te | te | 4te |
| Weiſsdorn. Längenfibern . . . . | 1,84 | 1,20 | 2,30 | 2,10 |
| Nuſsbaum . . . . . | 1,86 | 2,19 | 2,13 | 1,79 |
| Eiche . . . . . . . | 1,98 | 2,35 | 2,43 | 1,94 |
| Tanne . . . . . . . | 2,10 | 2,30 | 1,90 | 2,40 |
| Pappel . . . . . . | 2,33 | 2,40 | 2,30 | 2,22 |
| Nuſsbaum. Querfibern . . . . . . | 2,66 | 2,84 | 2,20 | 1,80 |
| Eiche . . . . . . . | 3,50 | 3,00 | 2,10 | 1,50 |
| Tanne . . . . . . . | 5,10 | 3,00 | 1,40 | 1,30 |
| Kork . . . . . . . | 5,70 | 3,90 | 2,20 | 1,56 |

Man sieht hieraus, daſs das logarithmische Gesetz auf Hölzer nicht anwendbar ist, zugleich aber, daſs die Hölzer nach den Längenfibern bessere Leiter sind, als nach den Querfibern, weswegen sie auch leichter die Wärme des Bodens, als die der äuſsern Umgebung annehmen.

298) Bei dieser Untersuchung des Fortpflanzungsvermögens der Wärme in verschiedenen Körpern müssen wir noch eine eigenthümliche Erscheinung erwähnen, die wohl noch nicht als definitiv entschieden gelten kann. Es wird oft als aus gemeinen Erfahrungen entnommen betrachtet, daſs Metallstangen, überhaupt länglich geformte Metallmassen, als Löffel, Drähte, Barren u. s. w., wenn sie am einen Ende stark, bis zum Glühn, erhitzt oder wirklich glühend gemacht und mit diesem Ende in kaltes Wasser getaucht werden, am andern eine höhere Wärme zeigen, als wenn man sie in der Luft erkalten läſst[1]. Ausdrücklich wurde der Satz ausgesprochen durch N. W. Fischer[2], welcher als Thatsache erwähnt, daſs die Fortpflanzung der Wärme von dem erhitzten Ende aus nach den entfernten Stellen bei weitem schneller erfolgt, wenn dieses Ende,

1 Ich glaube mich zu erinnern, daſs Meisner die Thatsache durch einen Versuch mit zwei Eisenstangen bestätigt gefunden habe, indem er beide einander gleiche auch gleichmäſsig erhitzte, die eine in Wasser tauchte, die andere an der Luft erkalten lieſs, und die erste wegen groſser Hitze fallen lassen muſste, die andere aber länger zwischen den Fingern halten konnte.

2 Poggendorff's Ann. XIX. 513.

statt in der Luft, durch eine Flüssigkeit, besonders durch Wasser, abgekühlt wird. Man kann, heifst es, diese überraschende Erscheinung sehr leicht wahrnehmen, wenn ein Platin- oder Silberlöffel so lange erhitzt wird, bis der in der Hand gehaltene Stiel eben warm zu werden anfängt und man Wasser in den Löffel giefst, wobei sich die Wärme so schnell mittheilt, dafs der Löffel nicht mehr gehalten werden kann. Am besten mufs der Löffel nicht so stark erhitzt seyn, dafs der Leidenfrost'sche Versuch eintritt. Mousson[1] erwähnt die Sache als bekannt, betrachtet sie aber nicht als eine Folge der Leitung, sondern glaubt, das schnelle Erkalten bewirke eine Compression und erzeuge hierdurch Wärme. Hiernach müfste die schnell abgekühlte äufsere Hülle die eingeschlossenen Theile zusammenpressen und dadurch Wärme erzeugen, allein da gleichzeitig Wärme abgegeben wird, mithin die vorhandene nur die Differenz der erzeugten und abgegebenen seyn könnte, diese aber bei der immerhin langsamen Fortpflanzung bis zum entfernteren Ende sich mehr der nächsten Umgebung mittheilen müfste, so erscheint diese Erklärung auf jeden Fall als sehr unwahrscheinlich. Auf die einfachen Gesetze der Wärmeleitung läfst sich das Phänomen ebenso wenig zurückbringen, denn durch Abkühlung des unteren Endes, welches unwidersprechlich mit Abgabe von Wärme verbunden ist, müfste letztere sich zum Ersatze nach dieser Stelle hinziehn, es würde also das Gegentheil erfolgen, und fände daher die Thatsache wirklich statt, so müfste sie in einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Wärme, deren Verhalten uns in vielen andern Beziehungen noch so wenig bekannt ist, gegründet seyn. Bei der Versammlung der Naturforscher zu Freiburg 1838 hielt H. Schröder über dieses Problem einen Vortrag[2], worin er angab, dafs er auf die Löthstelle eines einfachen Antimon-Wismuth-Elements, welches mit einem empfindlichen Thermogalvanometer verbunden war, Metalle von verschiedener Länge und Form gelöthet habe, deren Enden er mit einer Aeolipile erhitzte, bis die vollkommen astatische Nadel bei einer gewissen Ablenkung stationär geworden war. Ward dann das erhitzte Ende plötzlich abgekühlt, so mufste die Nadel noch mehr abweichen, allein dieses

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 410.

2 Ebendaselbst XLVI. 135.

erfolgte nie, vielmehr ging die Nadel stets auf die gewöhnliche Weise in Folge der Abkühlung zurück. Diese Versuche wurden mit Kupfer, Eisen, Zink und Messing von den verschiedensten Gestalten angestellt und führten daher zu dem Resultate, dafs die aufgestellte Behauptung, die ursprünglich auf der Aussage der Metallarbeiter, namentlich der Schmiede, beruht, ungegründet sey. Poggendorff bemerkt in einer Anmerkung, dafs Crahay[1] in das Ende einer eisernen Stange ein Loch bohrte, Quecksilber hineingofs und in dieses eine Thermometerkugel senkte, am Thermometer aber nie ein Steigen bemerkte, wenn das andere Ende der Stange nach dem Erhitzen schnell abgekühlt wurde, weswegen er selbst die Behauptung für genügend widerlegt hält. Auch Böttger[2], welcher noch in Freiburg dieses merkwürdige Verhalten für Silber in Schutz nahm, gelangte nachher durch genaue Versuche mit Platin, Kupfer, Eisen, Neusilber, Palladium und Silber gleichfalls zu einem negativen Resultate. Uebrigens liegt die Ursache der Täuschung nicht fern. Man erwartet, dafs durch das Eintauchen des erhitzten Endes in Wasser das andere Ende gleichfalls erkaltet werden und ein schnell merkbares Sinken der Temperatur bemerkbar werden müsse, glaubt dann aber an eine Vermehrung der Wärme, wenn das andere Ende des Metalls eine Temperaturerhöhung zeigt, die übrigens vermöge des langsamen Fortschreitens der Wärme ohnehin eingetreten seyn würde. Ein einfacher Versuch, wenn man die einen Enden zweier ganz gleicher Kupferdrähte in geringer Entfernung von einander zwischen die Finger nimmt, ihre andern Enden dicht neben einander in einer Weingeistlampe gleichmäfsig erhitzt und dann, wenn man die beginnende Wärme empfindet, das Ende des einen Drahtes ins Wasser taucht, zeigt deutlich, wie leicht diese Täuschung eintrete, denn anfangs glaubt man wirklich an die Erscheinung, bei der Wiederholung hört dieses aber auf.

### 3) Durchleitung der Wärme durch verschiedene Körper.

Wenn es sich um die Untersuchung der Gesetze handelt, nach denen die Wärme durch den leeren Raum oder durch

1 Quetelet's Correspond. math. et phys. T. VI. p. 324.
2 Poggendorff's Ann. L. 60.

zwischenliegende Körper hindurchgeleitet wird, so sieht man bald, dafs dabei zugleich das Abgeben oder Aufnehmen der Wärme von gegebenen Körpern in Betrachtung kommt, worüber unter *Strahlung* bereits gehandelt worden ist, nicht minder das Verhalten der Körper, durch welche die Wärme strömt, welches unter *Fortpflanzung* näher untersucht wurde; die Erscheinungen der Durchleitung lassen sich daher nur insoweit von den bisher untersuchten trennen, als dabei nicht blofs das Verhalten der Körper, welche Wärme aufnehmen und abgeben, in Betracht kommt, sondern auch die Bedingungen, welche in dieser Beziehung durch den zwischenliegenden Raum oder die zwischenliegenden Körper herbeigeführt werden.

## α) Durchleitung der Wärme im Allgemeinen.

299) Die Wärme wird am leichtesten und schnellsten von einem Körper zum andern übergehn, wenn die zwischenliegende Materie sie am begierigsten aufnimmt, durch ihre Masse am schnellsten durchläfst und am leichtesten wieder abgiebt. Sofern also das Fortpflanzungsvermögen der zwischenliegenden Körper vorzugsweise bedingend mitwirkt, begreift man leicht, warum die Erscheinungen der Fortpflanzung und Durchleitung bisher von den Physikern nicht getrennt wurden und auch nicht füglich scharf gesondert werden können. Nicht minder kommt aber hierbei der Uebergang der Wärme von der Oberfläche des einen Körpers in die des andern in Betrachtung, worüber bereits oben (1, γ, §. 269) in Beziehung auf einzelne merkwürdige Erscheinungen geredet worden ist. Aufser der vielfach untersuchten Strahlung liegen hierüber nur wenige Versuche vor, inzwischen verdient die meiste und vorzüglichste Berücksichtigung, was Fourier[1] zur Ermittelung der hierbei sich zeigenden Gesetze gethan hat. Er schlägt hierzu das sogenannte *Contactthermometer* vor, welches mir in seiner ursprünglichen einfachen Gestalt am geeignetsten zu seyn scheint. Hiernach Fig.
besteht dasselbe aus einem konischen Gefäfse A A von dünnem 57.
Eisenblech (besser wohl von Glas) mit einer in dem Falze g g festgebundenen, nicht dicken Haut. Das Gefäfs wird mit Quecksilber gefüllt und in dieses vermittelst eines Korkes l l ein

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 291. Poggendorff's Ann. XIII. 327.

feines Thermometer eingesenkt, auf dessen Scale sich noch Zehntel eines Grades unterscheiden lassen. Es gehört dazu ferner eine Unterlage D, welche aus einer willkürlichen Substanz, etwa aus Marmor oder der genaueren Berührung wegen aus einer Lage Quecksilber, bestehn kann, da es nur auf unter sich vergleichbare Resultate ankommt. Auf diese Unterlage wird das dünne Plättchen gelegt, dessen Fähigkeit, die Wärme aufzunehmen, untersucht werden soll, und beide, die Unterlage sowohl, als auch dieses Plättchen, werden auf constanter Temperatur, am besten der des Zimmers, erhalten. Alsdann erwärmt man das Contactthermometer bis etwa 46° oder 47° C., läfst es einige Grade, etwa bis 45°, herabgehn, setzt es auf das Plättchen und zeichnet die Zeiten und zugehörigen Thermometergrade auf, bis es zu einem gewissen Puncte erkaltet ist. Vorzugsweise dient dieses Instrument, um das relative Leitungsvermögen verschiedener Substanzen zu untersuchen, z. B. der Metalle, Steine, Hölzer u. s. w., die dann in dickeren Massen unmittelbar als Unterlage dienen, um das Contactthermometer darauf zu setzen. Zur Vergleichung ist erforderlich, dafs für jeden Versuch die zu prüfenden Körper sowohl, als auch das Contactthermometer gleiche Temperaturen haben und dafs die Temperatur des zu prüfenden Körpers der der umgebenden Luft gleich sey. Für diesen Fall wird das Leitungsvermögen $\varrho$ durch die Formel

$$\varrho = \frac{1}{\Theta}\left[\text{Log.}(\alpha' - m) - \text{Log.}(\alpha - m)\right]$$

gefunden, worin $\alpha$ die anfangs, $\alpha'$ die nach der Zwischenzeit $\Theta$ gemessene Temperatur, m aber die Wärme der Unterlage bezeichnen. Es reicht also hin, dafs man $\alpha$ und $\alpha'$ beobachte und die Differenz zwischen den gemeinen Logarithmen von $\alpha$ — m und $\alpha'$ — m durch die Zwischenzeit $\Theta$ dividire, um den Werth von $\varrho$ zu finden. Am bequemsten ist es, für die erste Beobachtung der Gröfse $\alpha$ — m einen gleichen Werth, z. B. 40° C., und für $\Theta$ eine fixe Dauer, etwa 10 Minuten, anzunehmen und dann $\alpha'$ — m zu beobachten. Die Werthe von $\alpha'$ — m, welche nach der Natur der Substanzen verschieden sind, lehren direct und ohne Rechnung die Reihe der specifischen Leitungsfähigkeiten kennen. Zwar sind die erhaltenen Werthe nur genäherte, wenn man sich die Aufgabe stellt, das eigentliche physische Verhalten der Körper zu

ergründen, da bei den Versuchen so manche anderweitige Bedingungen, als das Strahlungsvermögen, die specifische Wärmecapacität u. s. w. einen nicht unbedeutenden Einfluſs ausüben, dennoch aber geben sie für eine groſse Menge von Körpern das Leitungsvermögen mit hinlänglicher Genauigkeit an. Fourier setzt weiter hinzu, daſs er durch Colladon veranlaſst ein abgeändertes Contactthermometer construirt habe, da aber dasselbe, obgleich er ihm den Vorzug einräumt, im Bau und in der Gebrauchsart weit zusammengesetzter ist, so verweise ich deswegen um so mehr auf die angegebene Quelle, als bis jetzt noch kein eigentlicher Gebrauch davon gemacht wurde.

Auſser einigen Versuchen, welche Fourier mit seinem Contactthermometer angestellt hat und deren Resultate er nur beiläufig angiebt, prüfte auch Despretz[1] den Einfluſs der Unterbrechung beim Uebergange der Wärme von einem Körper in den andern. Zwei Stangen von Kupfer und Zinn, quadratisch, von 20,5 Millim. Seite des Querschnitts und 4 Decimeter Länge, wurden mit ihren polirten Enden vermittelst einer Holzschraube an einander geschraubt. In jedem Stabe waren 5 Thermometer, deren erste 79,5 Millim. von der Verbindungsstelle abstanden, in Vertiefungen eingesenkt und die Löcher mit Oel vollgegossen. Die Erhitzung geschah mittelst eines Cylinders, dessen eines Ende in der Flamme einer Argand'schen Lampe sich befand, das andere aber den einen der Stäbe berührte. Da die Resultate nur im Allgemeinen angegeben sind, so wird es genügen zu bemerken, daſs der Ueberschuſs des Kupfers, welches die Wärme dem Zinn zuführte, über dieses letztere 1°,47 C. betrug, als aber ein Blatt Briefpapier zwischen die Berührungsstelle geschoben war, betrug derselbe 5°,5. Diese übrigens unbedeutenden Versuche beweisen also gleichfalls, daſs die Flächen der Wärmeströmung einen Widerstand entgegensetzten, was zur Bestätigung der Erklärung der Erscheinungen mit Trevelyan's Wackler dienen kann.

300) Nehmen wir die Sache allgemein, so begegnen wir einer auffallenden Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Lichts und der Wärme, denn auch das Licht erleidet an der Oberfläche der transparenten Körper einen Widerstand; eine

1 L'Institut VIme Ann. N. 255. Compt. rend. T. VII. p. 833. Poggendorff's Ann. XLVI. 484.

weitere Aehnlichkeit beider wird am Ende dieses Abschnittes zur Sprache kommen. Als nächste Folge dieser Eigenthümlichkeit bei der Wärmeleitung ist zu betrachten, dafs Wasser in Gefäfsen mit siedendem Wasser nicht zum Sieden gebracht wird, eine Erscheinung, auf die zuerst Richmann[1] aufmerksam machte, welcher zugleich fand, dafs auch bei andern Flüssigkeiten ein Thermometer in einem Gefäfse, welches in ein anderes Gefäfs mit derselben Flüssigkeit eingetaucht ist, nie die Temperatur zeigt, als dasjenige, welches in die äufsere Flüssigkeit eingesenkt ist. Parrot[2] fand bei seinen Untersuchungen über das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten diese Erfahrung bestätigt und bauet auf diese und andere ähnliche den Schlufs, dafs die Körper um so weniger gute Wärmeleiter sind, je mehr sie aus heterogenen Theilen bestehn. Dieser Satz ist sehr wahr und läfst sich dahin erweitern, dafs man das Wärmeleitungsvermögen der Körper nicht blofs der Heterogeneität ihrer Bestandtheile, sondern auch der Lockerkeit ihres Gefüges umgekehrt proportional setzen kann. In gewisser Beziehung kommt Beides auf das Nämliche hinaus, denn die lockeren Körper sind in der Regel solche, in deren Zwischenräume sich Luft oder Gasarten befinden und die man also auch als aus heterogenen Bestandtheilen zusammengesetzt betrachten kann. Wir werden in den folgenden Erörterungen diese Thatsache vielfach bestätigt finden.

301) Sollen die Körper nach ihrem zunehmenden Durchleitungsvermögen geordnet werden, so steht der leere Raum als der schlechteste Leiter voran, ja nach Gay-Lussac[3] ist im absoluten Vacuum gar keine Wärme vorhanden. Zu dieser Behauptung kam er durch eine Reihe von Versuchen, bei denen er in das obere Ende einer langen Glasröhre ein sehr empfindliches Thermometer einkittete und diese in eine gröfsere, mit Quecksilber gefüllte, einsenkte. Befand sich in der engeren Röhre unter der Thermometerkugel ein durch Quecksilber leicht herzustellendes Torricelli'sches Vacuum und wurde dasselbe durch schnelles tieferes Eintauchen in das Quecksilber der wei-

---

1 Nov. Comm. Petrop. T. IV. p. 246. T. XII. p. 289.
2 G. XVII. 391.
3 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 191. Ann. de Chim. et Phys. T. XIII. p. 304.

teren Röhre verkleinert, bis zum Verschwinden, so zeigte sich nie die mindeste Wärmeentbindung, die dagegen jederzeit zum Vorschein kam, wenn sich Luft, sowohl dünnere als auch dichtere, in dem Raume befand und durch schnelles Herabdrücken der engeren Röhre in das Quecksilber verdichtet wurde. Gegen die Gültigkeit dieser Versuche läfst sich allerdings einwenden, dafs ein gewöhnliches, wenn auch noch so feines, Thermometer die verdichtete Wärme des Raumes zu zeigen nicht empfindlich genug sey, der Versuch liefse sich daher mit einem ungleich empfindlichern thermoelektrischen Apparate wiederholen. Nach theoretischen Betrachtungen könnte man sagen, die Wärme besitze zwar Repulsion ihrer Molecüle, werde aber zugleich durch die Molecüle der Körper angezogen, und könne daher die Wandungen der Röhre nicht verlassen, um im Innern des leeren Raumes selbstständig zu existiren, namentlich wenn die einschliefsenden Wandungen von gleicher Temperatur sind. Bei ungleicher Wärme derselben ist dagegen nicht wohl denkbar, dafs die Strahlung einen so engen Raum zu durchdringen nicht vermögen sollte, und wenn sie den leeren Raum strahlend durchdringt, so mufs sie in diesem Momente wenigstens darin anwesend seyn. Bei den von mir gemachten Erfahrungen[1], dafs die Wärme die Dämpfe des verdunsteten Eises von der einen Wandung eines Ballons, worin die verdünnte Luft $\frac{1}{600}$ der atmosphärischen Dichtigkeit kaum erreichte, zur entgegengesetzten überführte, diente die Wärme sogar als Vehikel, war jedoch an die Molecüle des Dampfes gebunden. Es giebt indefs einen artigen Versuch, um das schlechte Leitungsvermögen und die geringe Wärmecapacität des luftverdünnten Raumes anschaulich zu machen. Werden etwa einen Zoll grofse Kugeln von dünnem Glase im Zustande der Glühhitze zugeblasen und nimmt man diese nach dem Erkalten in die warme Hand, so ist die Wärmeableitung so gering, dafs es scheint, als würde Wärme in den Kugeln entbunden. Von dem geringen Durchleitungsvermögen der Luft geben auch die jetzt gebräuchlichen mit Luft gefüllten Kissen einen auffallenden Beweis.

302) Aufser den oben (§. 242) bereits erörterten Versuchen von Pictet, Leslie, Dalton und vorzüglich von

1 S. Art. *Verdunstung.* Bd. IX. S. 1731.

Dulong und Petit über das Erkalten im leeren Raume und in verschiedenen durch umgebende Hüllen eingeschlossenen Gasarten, wobei zwar zunächst die Ausstrahlung der Wärme berücksichtigt, die Wärme aber dabei zugleich durch den Raum geleitet und der äuſseren Hülle mitgetheilt wurde, kommen hier noch einige in Betrachtung, die sich zunächst auf den Durchgang der Wärme durch den leeren Raum und die Luft beziehen. Dahin gehören vorzüglich die älteren, schon im J. 1785 angestellten des Grafen Rumford [1]. Dieser schloſs die Kugel eines feinen Thermometers in eine Glaskugel ein, welche entweder mit Luft gefüllt oder durch Verbindung mit einer hinlänglich langen Glasröhre und Anfüllen derselben mit ausgekochtem und heiſs eingegossenem Quecksilber luftleer gemacht und dann zugeschmolzen worden war. Diese Apparate erkältete er in Eiswasser, hielt sie dann in siedendes und bemerkte die Zeit des Erwärmens bis 80° R., oder er verfuhr umgekehrt. Folgende Tabelle enthält die Resultate.

| Erreichte Wärme nach Reaum. | Zeit für die lufterfüllte Kugel. | | Zeit für die luftleere Kugel. | |
|---|---|---|---|---|
| 18°,0 | 0′ | 00″ | 0′ | 00″ |
| 27,0 | 0 | 45 | 1 | 30 |
| 34,4 | 1 | 00 | — | — |
| 44,9 | 2 | 10 | 4 | 20 |
| 48,2 | 2 | 40 | 5 | 00 |
| 56,2 | 4 | 00 | — | — |
| 60,9 | 5 | 00 | — | — |

Bei zwei ähnlichen Apparaten betrug die Zeit der Erwärmung von 0° bis 80° R. für die luftleere Kugel im Ganzen 10′ 48″, für die mit Luft erfüllte 7′ 35″ im Mittel aus zwei Versuchen, die Zeit des Erkaltens von 70° bis 10° R. aber, bei Umkehrung des Verfahrens, für die luftleere Kugel 16′ 10″, für die lufterfüllte 9′ 45″. Als die Kugeln bei folgenden Versuchen nicht in Eiswasser, sondern in trockner Luft von 70° R. bis 30° erkalteten, betrug die hierzu erforderliche Zeit für die luftleere Kugel 10′ 12″, für die lufterfüllte 6′ 11″. Um das Leitungsvermögen der Torricelli'schen Leere mit möglichster Ent-

1 Essays Ess. VIII. T. II. p. 389. G. V. 288.

fernung anderer leitenden Medien zu erforschen, hing Rumford ein sehr kleines Thermometer an einem sehr feinen Seidenfaden in einem länglichen Glasbehälter auf, machte letzteren mittelst Quecksilbers luftleer und untersuchte den Durchgang der Wärme durch den leeren Raum, unter Voraussetzung, dafs das Seidenfädchen nicht alle Wärme leiten könne. Auch hierbei zeigte sich das sehr geringe Leitungsvermögen des luftleeren Raumes, verglichen mit dem des lufterfüllten. Vermittelst ähnlicher Apparate, als die zuerst beschriebenen, untersuchte Rumford ferner das relative Leitungsvermögen der feuchten Luft, des Quecksilbers und des Wassers und erhielt folgende Zeiten des Erwärmens von 0° bis 70° R.:

| | | |
|---|---|---|
| Torricelli'sches Vacuum . . . . . . . . . . . | 10 Min. | 53 Sec. |
| Luft von atmosphärischer Dichtigkeit . . . | 7 — | 36 — |
| Luft von 0,25 atmosphärischer Dichtigkeit | 7 — | 37 — |
| Luft von 0,0417 atmosphärischer Dichtigkeit | 7 — | 51 — |
| Mit Wasserdampf gesättigte Luft . . . . | 1 — | 51 — |
| Wasser . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 — | 57 — |
| Quecksilber . . . . , . . . . . . . . . . . . . | | 36 — |

Werden hiernach die Leitungsfähigkeiten geordnet, so erhält man folgende Verhältnisse:

| | |
|---|---|
| Quecksilber . . . . . . . . . . . | 1000 |
| feuchte Luft . . . . . . . . . | 330 |
| Wasser . . . . . . . . . . . . . | 313 |
| gemeine Luft . . . . . . . . . | 80,41 |
| verdünnte Luft . . . . . . . . | 80,25 |
| mehr verdünnte Luft . . . . | 78 |
| Torricelli'sche Leere . . . . . | 55 |

303) Es schliefsen sich hieran zunächst die oben unter *Strahlung* (§. 258) bereits erwähnten Versuche von Rumford und Sennebier, aus denen sich ergiebt, dafs sehr lockere Körper noch schlechtere Wärmeleiter als selbst die trockne Luft sind. Dieses läfst sich leicht erklären, wenn man berücksichtigt, dafs, so wie die Schallwellen, auch die Wärme in ihrer Bewegung am meisten verzögert wird, wenn sie in zahlreichen Wechseln von besseren Leitern, den festen Theilchen lockerer Aggregate, zu den schlechteren, den zwischenliegenden Luftschichten, und von diesen wieder zu den festen

Theilchen übergehn mufs. Erfahrungen, welche dieses bestätigen, giebt es in Menge. Schon Aristoteles[1] bemerkt, dafs man Flüssigkeiten unter Asche länger warm erhalten könne, als frei stehend; auch bedecken die Landleute den Rest der glimmenden Kohlen des Abends mit Asche, um sie am andern Morgen in diesem Zustande wiederzufinden. Hierauf beruht das Umbinden der Bäume und das Bedecken der Pflanzen mit Stroh, um gegen die Winterkälte zu schützen, ferner der Vorzug der Strohdächer, welche im Winter mehr erwärmen und im Sommer kühler erhalten, als Stein- oder Metalldächer, weswegen sie oder dicke Holzbedeckungen bei Eiskellern allein anwendbar sind. Eis und Schnee sind schlechte Wärmeleiter, weswegen man beim Mangel des letzteren die mit Stroh bedeckten Kellerlöcher gegen strenge Kälte schützt, indem man das Stroh mit einer möglichst dicken Eiskruste überzieht, welche leicht zu erhalten ist, wenn man Wasser darüber giefst. Hierin liegt auch die Ursache, warum die Flüsse nur in der Polarzone bis auf den Grund gefrieren, das Eis aber in den höchsten Polargegenden nur langsam an Dicke zunimmt und nie über 10 bis höchstens 12 Fufs erreicht, denn die aus dem unten sich ansetzenden Eise entbundene Wärme durchdringt nur langsam die bereits gebildete Kruste. Der Schnee schützt bekanntlich die Vegetabilien im Winter gegen die Zerstörung durch Kälte, auch gräbt sich das Wild Höhlungen im Schnee und die Jäger schützen ihre Füfse durch tiefen Schnee, worin sie stehn, gegen das Erfrieren, der tiefen Schneehöhlen nicht zu gedenken, worin die Bewohner des höchsten Nordens überwintern. Merkwürdig aber ist, dafs das feste Eis die Wärme schlechter leitet, als der lockere Schnee, denn Ross[2] fand auf seiner bekannten Expedition, dafs 12 Fufs tiefer Schnee die Kälte so stark zurückhält, als 7 F. dickes Eis, und liefs daher Wasser über die Schneewände der aus Segeltuch gemachten Winterwohnung zu Boothia-Felix giefsen, um sie mit einer Eiskruste zu überziehn. Die so gemachten Wände zwischen 7 bis 9 Fufs, das Dach zwischen 4 bis 6 Fufs dick, widerstanden der Kälte, bis das Quecksilber gefror. Der Wind trocknete den Schnee beim Fallen so aus, dafs er wie Staub

---

1 Problemat. Sect. XXIV.

2 Narrative of a second Voyage in search of a North-West Passage cet. Lond. 1835. 4. App. p. CIX.

umherflog; wo er aber aufgehäuft lag, verwandelte er sich in eine feste Masse, so dafs sich Stücke, wie Quadersteine, daraus hauen und zu einem Walle aufhäufen liefsen.

304) Im hiesigen Cabinette befindet sich ein sogenannter Richmann'scher Apparat, vermittelst dessen sich das ungleiche Durchleitungsvermögen auf eine sehr einfache Weise anschaulich machen läfst. Derselbe besteht aus 8 cylindrischen Gefäfsen, 2,5 Z. hoch, 1,5 Z. weit, mit gleichen 1,25 Lin. dicken Wandungen. Sie bestehn aus Kupfer, Messing, Zinn, Blei, Marmor, Elfenbein, Holz, Sohlenleder, und in ein jedes derselben hängt der Cylinder eines Thermometers herab, deren acht von ganz gleicher Beschaffenheit neben einander an einer Querstange aufgehangen sind. Diese Cylinder, welche in einem länglichen Kasten stehn, werden mit Wasser von gleicher Temperatur zu gleichen Höhen angefüllt, alsdann giefst man in den Kasten heifses Wasser und mifst nach gleichen Zeitintervallen die durch die Thermometer angezeigten Temperaturen. Hierbei zeigt sich allerdings ein bedeutender Unterschied des Durchleitungsvermögens, eigentliche wissenschaftliche Versuche habe ich aber noch nicht damit angestellt.

305) Noch läfst sich hier ein Phänomen anreihen, welches mir seit langer Zeit aus den Erzählungen mancher Köchinnen bekannt war, von den Physikern aber bisher unbeachtet und daher ungeprüft blieb. Wenn man einen irdenen Topf mit flachem Boden und ohne Füfse, worin das Wasser über dem Feuer stark siedet, rasch entfernt und sogleich auf die Hand setzt, so zeigt das Gefühl dessen Boden zwar warm, aber nicht heifs; bald aber scheint die Wärme, namentlich beim Aufhören des Siedens, von oben wieder herabzukommen, und man mufs ihn der Hitze wegen von der Hand entfernen. Lange glaubte ich, es sey dieses blofs bei einem irdenen Gefäfse der Fall, eigene und fremde Versuche haben mich aber überzeugt, dafs auch metallene sich auf gleiche Weise verhalten. Neuerdings ist dieses Phänomen, und zwar in Beziehung auf metallene Gefäfse, durch Jacquemyns[1] zur Sprache gebracht worden; eine zur Prüfung ernannte Commission war geneigt zu glauben, die Sache beruhe auf einer Täuschung, sofern die Berührung der

1 Bulletin de la Soc. de Bruxelles 1835. T. III. p. 113 u. 322.

Hand zu kurze Zeit dauernd sey, um ihr eine genügende Menge Wärme mitzutheilen, und es sey daher bloſs scheinbar, daſs die Wärme der Bodenfläche nach einiger Zeit vermehrt werde, da vielmehr die Empfindlichkeit der Hand durch die längere Dauer wachse. Hiergegen läſst sich, so leicht auch Täuschungen dann möglich sind, wenn statt eigentlicher Messung das bloſse Gefühl entscheidet, wie das oben (§. 298) erwähnte Phänomen zeigt, dennoch mit Grunde einwenden, daſs hiernach auch die Seitenwandungen eines Gefäſses mit siedendem Wasser anfangs von geringerer und dann von vermehrter Temperatur zu seyn scheinen müſsten, was jedoch nie bemerkt wurde. Ist aber die Thatsache wirklich begründet, wie daraus zu folgen scheint, daſs sie von den Mitgliedern der prüfenden Commission nicht in Abrede gestellt wurde, so stehn ihrer Erklärung keineswegs unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen. Die Theorie, namentlich wie sie in den tiefgelehrten Untersuchungen von Fourier, Poisson, Libri, Cauchy und Andern durchgeführt worden ist, nimmt in Beziehung auf die Durchleitung der Wärme an, daſs der Wärmestoff in einem Zeitelemente ein gewisses Element des Raumes im gegebenen Körper durchlaufe. Denken wir uns, daſs dieses auch im vorliegenden Falle geschehe, so wird dieser Proceſs bedeutend dadurch gesteigert, daſs die aus dem Boden des Gefäſses heraustretende Wärme sogleich vom Wasser aufgenommen und im gebildeten Dampfe schnell fortgeführt wird, die nachfolgende Wärmeschicht muſs daher, wie beim Ablöschen eines Körpers im Wasser, schnell nachrücken, und so fort, bis zur äuſseren Bodenfläche, die ihre Wärme vom Feuer erhält. Wird dann die Quelle der in schneller Bewegung begriffenen Wärme plötzlich entfernt, so hört die Bewegung derselben nicht sofort auf, wie das noch einige Zeit fortdauernde Sieden zeigt, und es muſs daher in den unteren Schichten des Bodens eines mit siedendem Wasser gefüllten Gefäſses ein momentaner Mangel entstehn, bis das heiſse Wasser seine Wärme denselben wieder abgiebt.

β) Besonderes Verhalten der Durchleitung, Diathermanie, Diathermansie, Polarisation.

306) Bei den bisher untersuchten Phänomenen erschien uns die Wärme stets als etwas Bewegtes, dessen Verhalten, obgleich durch die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper bedingt, sich doch im Ganzen auf die allgemeinen Bewegungsgesetze zurückführen liefs. Namentlich war dieses der Fall bei den zuletzt erörterten Erscheinungen der Durchleitung, insofern hierbei zunächst nur die gröfsere oder geringere Leichtigkeit in Betracht kam, womit die Wärme die verschiedenen Körper gleichsam durchströmt. Neuerdings hat man aber mehrere Eigenschaften der Wärme wahrgenommen, insbesondere bei der Vergleichung der sogenannten leuchtenden und dunkeln Wärmestrahlen bei ihrem Durchgange durch verschiedene Körper, die uns wohl berechtigen, so wie beim Lichte, auch bei der Wärme eine Polarisation anzunehmen. Diese kann jedoch, wie bei den Lichtstrahlen, so auch bei den Wärmestrahlen, nicht anders statt finden, als wenn sie in transparente Medien eindringen und von diesen theils zurückgeworfen, theils durchgelassen werden. Nach der herrschenden Meinung wird angenommen, dafs die Wärmestrahlen, welche die intensiven Lichtstrahlen der Sonne begleiten, mit diesen frei durch transparente Körper dringen und letztere selbst gar nicht oder nur unbedeutend erwärmen, weswegen man auch Brennlinsen von Eis zu verfertigen vermag. Dabei blieb aber fraglich, ob die dunkleren Wärmestrahlen, z. B. vom Küchenfeuer und sonstigen glühenden Körpern oder auch von ganz dunklen erhitzten, transparente Körper durchdringen. Dafs dieses bei sehr hellleuchtenden der Fall sey, hatte ich selbst einst Gelegenheit wahrzunehmen, indem die Hitze eines mehrere hundert Fufs entfernten, in vollen Flammen stehenden grofsen Hauses durch die gefrorenen und nicht davon aufthauenden Fensterscheiben im Innern des Zimmers von den Zuschauern sehr merklich wahrgenommen wurde. Inzwischen ist unlängst bekannt, dafs minder helle Wärmestrahlen mit zunehmender Dunkelheit transparente Körper weniger durchdringen, bis zum gänzlichen Verschwinden des Durchganges bei ganz dunkeler und wenig intensiver Wärme. Mariotte[1] behauptete zuerst, dafs die

1 Traité de la nature des couleurs. Par. 1686. T. II. Introd.

Strahlen eines irdischen Feuers gar nicht oder nur sehr wenig vom Glase durchgelassen werden, und SCHEELE[1] bestätigte dieses mit der Erweiterung, dafs die Strahlen des Küchenfeuers, in einem Metallspiegel concentrirt, ein Thermometer im Brennpuncte desselben sehr stark afficiren, diese Wirkung aber sofort verschwindet, wenn eine klare Glasscheibe dazwischen gebracht wird. PICTET[2] stellte zwischen seine Brennspiegel, als sich in dem Brennpuncte des einen eine Phiole mit heifsem Wasser befand, in dem des andern ein sehr empfindliches Luftthermometer, eine sehr dünne Spiegelscheibe, und sah auch dann das Thermometer steigen, doch gelang es ihm nicht, die dunkeln Wärmestrahlen durch eine Glaslinse zu concentriren, woraus der erschwerte Durchgang solcher Strahlen durch Glas sichtbar hervorgeht. Uebrigens mufs hierbei bemerkt werden, dafs das angewandte Luftthermometer ausnehmend fein war, indem ein Grad desselben nur $\frac{1}{24}$ eines Grades R. ausmachte. Die durch die Phiole mit siedendem Wasser erzeugte, die dünne Glasscheibe durchdringende Wärme betrug nur etwa 1° R. und war ohne Zweifel nur diejenige, welche die erhitzte Scheibe wieder abgab. Um die durch RUMFORD aufgestellte Hypothese, dafs die Wärme durch Flüssigkeiten gar nicht durchgeleitet werde (§. 287), zu prüfen, und zugleich LESLIE's Hypothese zu widerlegen, wonach die Wärme durch transparente Körper nicht strahlen, sondern der einen Fläche derselben durch die Luft zugeführt und durch ebendiese von der entgegengesetzten wieder weggeführt werden sollte, liefs PREVOST[3] den Strahl eines Springbrunnens durch zwei Glasscheiben so aufsteigen, dafs er zwischen diesen eine Lamelle von etwa 0,25 Lin. Dicke bildete, welche stets erneuert wurde, stellte an die eine Seite ein Kerzenlicht, an die andere ein feines Luftthermometer, und sah letzteres um einige Bruchtheile eines Grades steigen. Das durch PICTET gewählte Verfahren, die Wärmestrahlen erst durch eine freie, dann durch eine auf einer Fläche mit Tusche überzogene Glasscheibe fallen zu lassen, um die Durchleitung von der Durchstrahlung zu trennen, wurde aber-

---

1 Dessen Werke. Th. I. S. 124.

2 Versuch über das Feuer. §. 60.

3 Mém. sur la transmission du calorique à travers l'eau et d'autres substances §. 42. Journ. de Phys. Ann. 1811.

mals in Anwendung gebracht durch DELAROCHE[1], nach dessen Versuchen mit Hohlspiegeln und bei Anwendung von Gefäfsen mit heifsem Quecksilber oder von stark erhitzten kupfernen Kugeln die Strahlen eines etwa bis zur Siedehitze des Wassers erwärmten Körpers das Glas nicht durchdringen, wohl aber in einem zunehmenden Grade, wenn die Temperatur des strahlenden Körpers bedeutend wächst, fast ungeschwächt aber, wenn sie leuchtend sind, in welchem Falle bekanntlich die das Licht durchlassenden Körper selbst um so weniger erwärmt werden, je transparenter sie sind. Noch auffallender aber ist die von ihm gemachte Bemerkung, dafs die dunkelen Wärmestrahlen, welche bereits durch eine Glasscheibe gedrungen sind, beim Durchgange durch eine zweite nicht gleichen, sondern weit geringeren Verlust erleiden, welches er wohl nicht mit Unrecht eine Art *Polarisation* nennt. Dagegen aber vermindert die Dicke der transparenten Körper die Menge der durchgelassenen dunklen Strahlen sehr, denn eine Scheibe gemeinen Glases von 1,7 Millim. Dicke liefs deren weit mehr durch, als eine 9 Millim. dicke von sehr klarem Glase. Schon früher hat LESLIE[2] den Einflufs transparenter Schirme auf die durchgehenden dunklen Wärmestrahlen untersucht, später verfolgte er diese Aufgabe noch weiter[3] und gelangte mit BREWSTER zu ähnlichen Resultaten, als die von DELAROCHE gefundenen. Die genannten Gelehrten sind, wie auch insbesondere BIOT, geneigt, einen Uebergang der Wärme zum Lichte anzunehmen, welcher indefs nach diesen Erscheinungen ein allmäliger seyn müfste, so dafs das langsamer sich bewegende, nicht mehr leuchtende Licht die Eigenschaft, transparente Körper zu durchdringen, noch in einem gewissen Grade nach dem bereits begonnenen Uebergange zur Wärme beibehielte.

307) Diese Hypothese eines allmäligen Ueberganges des Lichts in Wärme durch verminderte Geschwindigkeit der Bewegung hat in sich nichts Empfehlendes, denn die Geschwindigkeit des intensiven Lichts der Sonne und der Fixsterne hat

1 Journ. de Physique. Ann. 1812. T. LXXVII. p. 201. Vergl. G. XLVI. 378. BIOT Traité T. IV. p. 638. Annals of Phil. T. II. p. 163.

2 Inquiry into the Nature of Heat. p. 162.

3 Philosoph. Trans. 1816. P. I. prop. 40.

mit dem von den Jupiterstrabanten bloſs reflectirten schwachen gleiche Geschwindigkeit und beide durchdringen die transparenten Körper auf gleiche Weise, das oft vorgebrachte Argument nicht zu erwähnen, daſs nach dem Aufhören der das Leuchten erzeugenden Undulationen des Lichtäthers letzterer ruhend und unbewegt zurückbleibt und also, wenn diese Ruhe bei Nacht wirklich eintritt, von selbst in Wärme übergehn müſste. Ohne dieses gewichtige Argument ausdrücklich zu erwähnen, ist Powell[1] geneigt, zwei verschiedene Wärmeprincipe anzunehmen, deren eins mit dem Lichte verbunden seyn und dieses begleiten, das andere sich einfach als dunkle Wärme verhalten soll. Um hierüber ins Klare zu kommen, genügt es nach seiner Ansicht nicht, bloſs den Durchgang der Wärme durch Schirme zu untersuchen, sondern man muſs dabei zugleich die Wirkung der Flächen berücksichtigen, sofern sie die strahlende Wärme leichter aufnehmen und ausstrahlen. Hiernach glaubte er auf dem Wege der Erfahrung zur Entscheidung zu gelangen, ob die durch transparente Schirme durchgelassene Wärme identisch mit derjenigen sey, die durch die Beschaffenheit der Oberflächen afficirt wird. Zu diesem Zwecke wählte er das Mittel, den verschiedenen heiſsen und leuchtenden Körpern zwei Thermometer auszusetzen, das eine mit einer glatten schwarzen Kugel, das andere mit einer absorbirenden weiſsen, das Verhältniſs ihres Afficirtwerdens zu messen und mit demjenigen zu vergleichen, welches sich nach dem Zwischenbringen eines transparenten Schirmes herausstellt. Von seinen beiden Thermometern war das eine mit Kalk geweiſst, das andere mit Tusch geschwärzt; sie wurden entweder frei aufgehangen oder in einem Kasten, welcher durch transparente Schirme von Glas verschlossen war. Um die Strahlung des Schirmes auszuschlieſsen, sofern dieser durch die angewandten heiſsen Körper erwärmt werden und somit die Thermometer gleichfalls steigen machen muſste, erwärmte Powell diesen bis über die Temperatur, die er in jedem Versuche annahm, maſs seinen Effect für sich allein auf die Thermometer und zog diese Gröſse von den gefundenen Werthen ab; die

1 Philos. Trans. 1825. p. 187. Auch in New Annals of Philos. T. VIII. p. 181. T. IX. p. 359 u. 401. Vergl. Edinburgh Journ. of Science. New Ser. N. VI. p. 297.

Scale der Thermometer endlich war in Viertel der Centesimalgrade getheilt. Aus den zahlreichen hiermit angestellten Versuchen, welche einzeln mitzutheilen mir überflüssig scheint, wird gefolgert, dafs ein Theil der Wärme eines leuchtenden Körpers, welcher in directer Strahlung das Glas durchdringt, die getroffenen Körper im Verhältnifs der Dunkelheit ihrer Farbe, ohne Einflufs der Glätte oder Rauheit ihrer Oberfläche, erwärmt, dafs dagegen der andere Theil, welcher durch den Glasschirm aufgefangen wird, blofs im Verhältnifs der absorbirenden Beschaffenheit der Oberfläche wirkt, ohne Mitwirkung der Farbe. Zur letzteren Classe gehört die dunkle Wärme, welche diesemnach durch Glasschirme gänzlich aufgefangen wird. Weitere Versuche mit Photometern gaben eine Bestätigung dieser Hypothese von zwei verschiedenen Wärmearten, wofür auch der Umstand entscheidet, dafs zwar im Ganzen die erregte Wärme der Intensität des Lichtes proportional ist, glühende Metalle aber verhältnifsmäfsig nur wenig Licht, dagegen aber viel Wärme ausstrahlen. Schwerlich dürfte indefs die Wärmelehre durch die Annahme zweier, unter sich verschiedener Potenzen bedeutende Aufklärung erhalten.

308) Sehr bedeutend wegen ihrer Genauigkeit, und weil sie direct zur Beantwortung der gestellten Frage dienen, sind die Versuche, welche Ritchie[1] mit Anwendung des von ihm selbst angegebenen[2] Photometers anstellte. Um mit Sicherheit auszumitteln, ob das Glas an sich und ohne Einflufs seiner Dicke die Wärmestrahlen zurückhalte, liefs er Kugeln von solcher Dünne der Wandungen blasen, dafs sie beinahe irisirten, fafste einen Theil dieser Hülle wie einen Schirm in einen Rahmen, setzte ihn zwischen eine erhitzte eiserne Kugel und die Kugel des Photometers und erhielt ihn durch einen Luftzug fortwährend auf der Temperatur seiner Umgebung, so dafs er keine von ihm aufgenommene, vielmehr nur die durchstrahlende Wärme der Photometerkugel mittheilen konnte. Es ergab sich dann, dafs keine Wärme durch den Glasschirm strahlte, so lange die eiserne Kugel von geringerer Hitze, namentlich der Siedehitze und etwas darüber war; wurde sie aber stark

1 Philos. Trans. 1827. P. II. p. 139.
2 Ebendaselbst. P. I. p. 129. Vergl. oben §. 232.

erhitzt, ohne jedoch sichtbar zu glühen, so drang allerdings etwas Wärme durch den Glasschirm. Demnächst wandte er ein Photometer mit sehr dünnen Glaskugeln an, deren eine durchsichtig gelassen, die andere aber an der einen Hälfte geschwärzt war. Es zeigte sich, dafs die dunkleren Wärmestrahlen nicht durch das Glas drangen, war aber die eiserne Kugel stärker, jedoch nicht bis zum sichtbaren Glühen erhitzt, so sank die Flüssigkeit in der einen Röhre des Photometers, weil die durch die ungeschwärzte Hälfte der zugehörigen Kugel dringenden Wärmestrahlen von der andern hintern aufgefangen wurden. Endlich wandte er auch sinnreich flüssige Schirme an, indem er in einen vierkantigen Rahmen sich durchkreuzende feine Fäden ausspannte und zwischen ihnen dünne Scheiben von Eiweifs bildete, womit er sie mittelst eines feinen Pinsels überzog; sie gaben die nämlichen Resultate, als die Glasschirme, woraus zugleich hervorgeht, dafs auch die strahlende Wärme durch Flüssigkeiten dringt.

309) Minder sich beziehend auf die Durchlassung der Wärmestrahlen durch Glas, als vielmehr auf eigentliche Polarisation derselben sind die Untersuchungen von Berard[1], welcher hauptsächlich bezweckte, die durch Herschel in Anregung gebrachte ungleiche erwärmende Kraft der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen genauer zu prüfen und zu untersuchen, ob auch die mit den Sonnenstrahlen vereinten Wärmestrahlen der durch Malus neuentdeckten Polarisation unterworfen seyen. Zuerst liefs er die Sonnenstrahlen durch ein Prisma von isländischem Doppelspath in zwei Theile getrennt werden, und gewahrte, dafs in jedem der beiden Farbenbilder die Wärme gleichmäfsig vom Violett zum Roth zunahm, woraus er also folgert, dafs auch Wärmestrahlen polarisirt werden, da das eine der beiden Farbenbündel ein polarisirtes ist. Um zu ermitteln, ob auch die dunklen Wärmestrahlen polarisirt werden, verband er mit dem zweiten Spiegel der nach Malus's Angabe eingerichteten Polarisationsmaschine einen metallenen Hohlspiegel, in dessen Focus die Kugel eines feinen Thermometers angebracht war, so dafs beim Drehen des zweiten Spiegels um den durch

---

1 Annales de Chim. et Phys. 1813. Mars. G. XLVI. 376. Annals of Philos. T. II. p. 164. Hauptsächlich bekannt aus Biot Traité de Phys. T. IV. p. 602.

den ersten polarisirten Lichtstrahl ebenso die reflectirte Wärme, wie das reflectirte Licht auf die Thermometerkugel fallen mufste. Indem er dann den zweiten Spiegel durch alle Azimuthe herumdrehte, ergab sich, dafs das Thermometer allezeit stieg, wenn Licht reflectirt wurde, dagegen unbeweglich blieb, wenn dieses nicht der Fall war, wonach also die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen unzertrennlich seyn müfsten. Mit dunkler Wärme lassen sich diese Versuche nicht anstellen, weil das Glas, wie sehr auch seine Oberfläche polirt seyn mag, die dunkle Wärme nach seinen Erfahrungen nicht reflectirt.

310) Diese anfänglichen unvollkommenen Versuche sind in neuester Zeit um vieles übertroffen worden durch die gehaltreichen Bemühungen, welche Melloni und in specieller Beziehung auf die Polarisation insbesondere Forbes diesem Probleme gewidmet haben, wodurch die ganze Sache eine andere Gestalt erhalten hat. Unter die frühesten Versuche Melloni's, welche er in Verbindung mit Nobili anstellte[1], gehören diejenigen, wodurch er aufzufinden suchte, ob die Wärmestrahlen auf gleiche Weise, als die Lichtstrahlen, durchsichtige Körper durchdringen. Im Allgemeinen zeigte sich dieses bestätigt, sofern Gyps, Glimmer, Oel, Alkohol, Salpetersäure und andere klare Körper eine gröfsere oder geringere Menge von Wärmestrahlen, die aus einer in siedendem Wasser oder sonst erhitzten eisernen Kugel strömten, durchfallen liefsen; das Wasser allein war derjenige Körper, welcher selbst in den dünnsten Schichten als Schirm vor die Oeffnung der thermoelektrischen Säule gebracht gar keine Wärmestrahlen durchliefs, indem die Magnetnadel ganz unbeweglich blieb. Die Ursache hiervon konnte nicht im Flüssigkeitszustande liegen, da andere Körper in diesem Aggregatzustande die genannte Eigenschaft nicht zeigten; auch ging dieses evident daraus hervor, dafs Eis in dünnsten Plättchen angewandt gleichfalls keine Wärmestrahlen der Kugel, selbst wenn sie bis zum Rothglühen erhitzt über dem Thermomultiplicator hingeführt wurde, durchliefs[2]. Der wesent-

1 Aus Antologia di Firenze N. 136 in Poggendorff's Ann. XXVII. 444. Vergl. Bibl. univ. 1832. p. 337.

2 Die später folgenden Versuche beweisen, dafs Wasser und Eis zwar für Wärmestrahlen, welche mit Lichtstrahlen verbunden sind, nicht aber für sogenannte dunkle permeabel seyen. Fraglich bleibt

lichste Satz, welchen Melloni[1] daher aufstellt, heifst: die Durchsichtigkeit ist nicht die einzige Eigenschaft, welche das Durchlassen der Wärmestrahlen bedingt, sondern die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper bewirkt, dafs einige leichter, andere schwerer von den Wärmestrahlen durchdrungen werden, und wenngleich dieser Unterschied mit der Zunahme der Intensität der Wärmequelle abnimmt, so verschwindet er dadurch doch nicht gänzlich. Zu den Messungen bediente er sich eines empfindlichen Thermomultiplicators, und damit war es ihm allerdings möglich, die geringsten Unterschiede der Temperaturen noch wahrzunehmen. Auf diese Weise fand er die bereits (§. 71) erwähnte Abnahme der Temperatur im Spectrum, vom Maximum an nach beiden Seiten hin, wodurch dann die *isothermischen Zonen* entstehn, deren Lage jedoch mit der Verschiedenheit der Prismen wechselt. Was hiervon die Ursache sey, geht sehr evident aus einem interessanten Versuche hervor. Er liefs die Farbenstrahlen eines durch ein Kronglasprisma gebildeten Spectrums durch eine etwa eine Linie dicke, zwischen zwei sehr dünnen und klaren Glasscheiben eingeschlossene Wasserschicht fallen, untersuchte die Wärme der einzelnen farbigen Strahlen und der dunklen isothermischen Zonen vor dem Durchgange und nach dem Durchgange durch diese Wasserschicht, und fand, dafs sie in Folge dieses Durchganges ungleiche Verluste erlitten. Um die Gröfse dieser Verluste leichter zu überblicken, dient die folgende Tabelle, worin die durch die Multiplicatornadel gezeigten und

---

dabei aber immer, ob es nicht eine so geringe verschwindende Dicke beider Substanzen giebt, bei welcher einige, wenn auch nur wenige, dunkle Wärmestrahlen durchfallen. Dieses wird aus den Versuchen Ritchie's und auch aus den allgemeinen, durch Melloni erhaltenen, Resultaten mindestens sehr wahrscheinlich.

1 Annales de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 385. Poggendorff's Ann. XXIV. 640. Die Resultate dieser und der nächstfolgenden Abhandlung Melloni's sind vollständig mitgetheilt und einer mathematischen Bearbeitung unterworfen in dem von Biot verfafsten Berichte der vom Institute ernannten Mitglieder der Commission zur näheren Prüfung der Sache, bestehend aus Biot, Arago und Poisson. Alle drei sahen die Versuche und Biot insbesondere war anhaltend Theilnehmer derselben. Der Bericht findet sich in Mém. de l'Institut T. XIV., übers. in Poggendorff's Ann. XXXVIII. 1. XXXIX. 250. 436. 544.

dann corrigirten Wärmegrade angegeben sind, wobei es indeſs überflüssig schien, diese wieder auf die Grade einer bestimmten Thermometerscale zu reduciren.

| Zone des Wärmespectrums | Temperaturen vor dem Durchgange durch Wasser | Temperaturen nach dem Durchgange durch Wasser | Unterschiede | Verlust in Hundertsteln der ursprünglichen Temperatur |
|---|---|---|---|---|
| Violett . . . . . . | 2 | 2,0 | 0,0 | 0,00 |
| Indigo . . . . . . | 5 | 4,5 | 0,5 | 0,10 |
| Blau . . . . . . . | 9 | 8,0 | 1,0 | 0,11 |
| Grün . . . . . . | 12 | 10,0 | 2,0 | 0,17 |
| Gelb . . . . . . . | 35 | 25,0 | 10,0 | 0,28 |
| Orange . . . . . | 47 | 27,0 | 20,0 | 0,42 |
| Roth . . . . . . . | 58 | 25,0 | 33,0 | 0,57 |
| erste dunkle Zone | 47 | 14,0 | 33,0 | 0,70 |
| zweite — — | 35 | 9,0 | 26,0 | 0,74 |
| dritte — — | 12 | 3,0 | 9,0 | 0,75 |
| vierte — — | 9 | 1,0 | 8,0 | 0,88 |
| fünfte — — | 5 | 0,5 | 4,5 | 0,90 |
| sechste — — | 3 | 0,0 | 2,0 | 1,00 |

311) Melloni[1] hat das ungleiche Durchlassungsvermögen der verschiedenen Körper für Wärme noch weiter untersucht, indem er die Strahlen einer Argand'schen Lampe der Reihe nach durch 2 Millim. dicke Schichten derselben fallen lieſs, wobei sich noch auffallender zeigte, daſs die am meisten diaphanen Körper nicht zugleich die meiste Wärme durchlassen[2], wes-

1 Aus Berzelius Jahresbericht N. XIII. in Poggendorff's Ann. XXVIII. 371.

2 Berzelius berichtet bei dieser Gelegenheit, daſs Gottlieb Gahn einen in dieser Beziehung interessanten Versuch seinen Freunden oft zu zeigen pflegte. Er concentrirte die Strahlen eines hellen Kohlenfeuers durch eine klare Glaslinse und lieſs den Brennpunct auf die Hand fallen, wobei viel Licht, aber wenig Wärme wahrnehmbar war; wenn er aber statt des klaren Brennglases ein anderes durch Braunstein fast zur Undurchsichtigkeit violett gefärbtes anwandte, war der Brennpunct wenig glänzend, die Hand aber muſste wegen der groſsen Hitze augenblicklich weggezogen werden. Mit Melloni's sogleich zu erwähnenden Versuchen stimmt dieses nicht überein, doch

wegen er die Körper in letzterer Beziehung *diathermane* nennt. Die von ihm untersuchten Körper nebst der Angabe der Wärmemengen, welche durch sie hindurch fielen, zeigt folgende Tabelle.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Steinsalz, klar . . . | 92 | Nufsöl, gelb . . . . | 31 |
| Flintglas, klar . . . | 67 | Olivenöl, grüngelb | 30 |
| Schwefelkohlenstoff, klar . . . . . . . | 63 | Rüböl, gelb . . . . | 30 |
| Chlorschwefel, rothbraun . . . . . . | 63 | Aquamarin, bläulich | 29 |
| Kalkspath, klar . . | 62 | Borax, halbklar . . | 28 |
| Bergkrystall, klar . | 62 | bras. Turmalin, grün | 27 |
| Rauchtopas, braun . | 57 | Copaivabalsam, dunkelgelb . . . . . | 26 |
| Topas, bras. klar . | 54 | Adular, klar, aderig | 24 |
| kohlens. Blei, klar . | 52 | Schwefeläther . . . | 21 |
| Kronglas . . . . . . | 49 | Gyps, klar . . . . . | 20 |
| Achat, weifs, durchscheinend . . . . | 35 | Schwefelsäure . . . | 17 |
| Schwerspath, halbklar . . . . . . . | 33 | Salpetersäure . . . . | 15 |
| Terpentinöl, farblos | 31 | Alkohol . . . . . . | 15 |
| | | Citronensäure . . . | 15 |
| | | Alaunkrystall . . . | 12 |
| | | Wasser . . . . . . . | 11 |

Bei einigen dieser Körper steht ihre *Diathermanie*[1] (von διά durch und θερμαίνω ich erhitze) in gleichem Verhältnifs zu ihrem Refractionsvermögen, allein dieses ist keineswegs bei allen der Fall, auch ist es bei den krystallisirten gleichgültig, in welchem Verhältnifs zu ihrer Krystallisationsaxe sie geschnitten sind. Auffallend zeigt sich aber, dafs die Durchsichtigkeit auf die Diathermanie keinen durchaus bedingenden Einflufs habe, denn Melloni liefs aus einem Rauchtopas eine 48 Millim. dicke Scheibe verfertigen, die so undurchsichtig war, dafs man bei vollem Tagslichte kaum eine darunter liegende

erklärt es sich genügend aus denen, die wir später namhaft machen werden.

1 Statt Diathermanie sagt man auch *Diathermanität*, allein jener Ausdruck scheint mir den gebräuchlichen Regeln der Wortbildung angemessener zu seyn, und er hat aufserdem den Vorzug der Kürze und gröfseren Uebereinstimmung mit dem verwandten: *Diathermansie*, weswegen ich beide ausschliefslich gebrauche.

grobe Druckschrift erkennen konnte, und dennoch liefs sie von 100 Wärmestrahlen 54 hindurch, statt dafs durch eine vollkommen klare, nur 1,5 Millim. dicke Platte eines Alaunkrystalls 17 durchfielen. Ueber den Einflufs der Dicke erhielt er gleichfalls merkwürdige Resultate. Bei einer Rauchtopasplatte ging die Menge der von 100 Wärmestrahlen durchgelassenen durch 24mal vermehrte Dicke nur von 57 bis 54 herab, eine Kalkspathplatte vorlor durch 46mal vermehrte Dicke nur ein Viertel ihrer diathermanen Eigenschaft, und bei Steinsalz wurde kein Unterschied zwischen Scheiben von 2 bis 30 oder 40 Millim. Dicke wahrgenommen. Aus klarem Spiegelglase wurden vier Scheiben von 2, 4, 6, 8 Millim. Dicke, möglichst parallelen Flächen und bester Politur geschliffen. Als auf diese eine bei allen gleiche Wärmemenge fiel, die wir durch 1000 ausdrücken wollen, betrug die Menge der durchgehenden der Reihe nach 619, 576, 558 und 549. Denkt man sich nun die dickste Scheibe aus vier einzelnen von der Dicke der ersten bestehend, so beträgt der Verlust der Wärme beim Durchgange durch die erste 0,381 der Gesammtmenge, bei der zweiten 43 von 619, also nur 0,071, und ebenso bei der dritten 0,031 und bei der vierten 0,016. Bei drei dicken Glasstücken von 2, 4, 6 Zoll Dicke waren die Mengen der durchdringenden Strahlen 484, 383 und 303 von 1000, also die Verluste 516 auf 1000 = 0,516, 101 auf 484 oder 0,215, 80 auf 383 oder 0,209 des Ganzen. Ein gleiches Gesetz der Abnahme zeigte sich bei Rübölschichten von verschiedener Dicke, und dieses Verhalten ist verschieden von dem, was beim Lichte statt findet.

312) In einer weiteren ausführlichen Abhandlung hat Melloni[1] die wichtigen Resultate seiner Untersuchungen mitgetheilt, bei denen er sich des von ihm und Nobili erfundenen Thermomultiplicators bediente[2], dessen hoher Grad von Empfindlichkeit ihn zu Versuchen dieser Art vorzüglich geeignet macht, wovon wir jedoch hier nur eine Zeichnung mittheilen, da die Hauptsache, die thermoelektrische Säule, be- Fig. 58.

---

1 Vorläufige Nachricht in L'Institut 1833. N. 8 u. 12. Bibl. univ. 1833. Oct. p. 191. Poggendorff's Ann. XXVIII. 637. Die Abhandlung selbst in Ann. de Chim. et Phys. T. LIII. p. 1. Poggendorff's Ann. XXXV. 112. 277. 385. 529. 559.

2 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1001.

reits beschrieben worden ist, die übrigen Theile aber keiner näheren Beschreibung bedürfen. Als ein besonderer sehr grofser Vorzug dieses Instrumentes vor andern Thermometern wird jedoch mit Recht durch Melloni und Forbes hervorgehoben, dafs es in so unglaublich kurzer Zeit auf sein Maximum kommt. Vor allen Dingen war erforderlich, die vermöge der Strahlung durch die Körper dringende Wärme von der durchgeleiteten zu trennen. Die hierfür von Pictet, Prevost, Ritchie und Delaroche angewandten Methoden sind bereits erwähnt worden; sie waren für Melloni's Vesuche nicht geeignet, und er wählte daher eine andere, indem er die zu untersuchenden Körper in diejenige Entfernung vom Thermomultiplicator brachte, in welcher die ohnehin schwache und langsame Durchleitung ein Minimum wird, d. h. er stellte den diathermanen Schirm in die Mitte zwischen die Wärmequelle und den Thermomultiplicator[1]. Es ergab sich übrigens aus den Versuchen selbst evident, dafs die das Thermoskop afficirende Wärme blofs die vermöge der Strahlung durch die Schirme dringende war, denn die Nadel bedurfte bei jeder Art von Schirmen die nämliche Zeit, um stationär zu werden, nämlich 1,5 Minuten; ferner bewegte sich die Nadel gar nicht, wenn die Strahlen durch eine geschwärzte Glasscheibe oder Kupferscheibe aufgefangen wurden, und auch dann nicht, wenn die ungeschwärzten Glasscheiben eine hinlänglich lange Zeit in gleichem Abstande der abgesondert stehenden Wärmequelle ausgesetzt und dann vor den Thermomultiplicator an die gewöhnliche Stelle gesetzt wurden, wie nothwendig hätte geschehn müssen, wenn die von ihnen ausströmende Wärme auf das Thermoskop zu wir-

1 Ist a der Abstand der Wärmequelle vom Thermomultiplicator, x der Abstand des Schirms vom Thermomultiplicator und i die Intensität der Wärmequelle, so hat man unter der bekannten Voraussetzung, dafs die Intensität der Strahlung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, für die Strahlen auf der Vorderfläche des Schirms $\frac{i}{(a-x)^2}$ und für die Hinterfläche $\frac{ci}{(a-x)^2}$, wenn c die Leitungsfähigkeit des Schirmes bezeichnet. Es ist dann ferner nach eben diesen Principien die Strahlung von der Hinterfläche des Schirms gegen das Thermoskop: $\frac{ci}{x^2(a-x)^2}$, und um hierfür das Minimum y zu finden, mufs man das Differential der Gleichung nehmen. Man erhält dann

ken vermöchte[1]. Hiermit noch nicht zufrieden, da es hauptsächlich auf den Beweis ankam, dafs auch die Strahlen der dunklen Wärme die Körper durchdringen, was bis dahin geleugnet worden war, stellte MELLONI[2] die thermoelektrische Säule so, dafs ihre Oeffnung einem direct auf sie einfallenden, durch eine Platte durchgefallenen Strahlencylinder ausgesetzt war. Rückte er dieselbe seitwärts, so nahm die Wirkung ab und verschwand gänzlich, sobald sie aus diesem Strahlencylinder gekommen war, selbst wenn er sie seitwärts der Platte näherte und letztere durch Umdrehung um ihre verticale Axe in eine Lage brachte, vermöge welcher sie der Oeffnung der Säule zugekehrt durch ihre eigene Wärme auf diese einwirken mufste. Eine Hauptsache war aber, das Verhältnifs der die Nadel ablenkenden Kräfte zu den durchlaufenen Bogen zu finden, welches bei jedem Apparate verschieden ist. Es ergab sich, dafs für den von MELLONI gebrauchten bis zu 20 Graden die Kräfte den Bogen direct proportional sind, was eine Folge seiner eigenthümlichen Windungen ist; für die übrigen erhielt er folgende Werthe:

| Grade | Kräfte | Grade | Kräfte | Grade | Kräfte |
|---|---|---|---|---|---|
| 20° | 20,0 | 29° | 33,4 | 38° | 55,4 |
| 21 | 21,1 | 30 | 35,3 | 39 | 58,5 |
| 22 | 22,3 | 31 | 37,4 | 40 | 61,9 |
| 23 | 23,7 | 32 | 39,6 | 41 | 65,5 |
| 24 | 25,1 | 33 | 41,8 | 42 | 69,3 |
| 25 | 26,6 | 34 | 44,1 | 43 | 73,2 |
| 26 | 28,2 | 35 | 46,7 | 44 | 78,0 |
| 27 | 29,9 | 36 | 49,5 | 45 | 83,2 |
| 28 | 31,6 | 37 | 52,4 | | |

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{2ci(2x - a)}{x^3 (a - x)^3},$$

welches = 0 gesetzt die Gröfse $2x - a = 0$ giebt. Hieraus folgt $x = \frac{1}{2}a$, der Schirm mufs sich also in der Mitte zwischen der Wärmequelle und dem Thermomultiplicator befinden.

1 Wenn man die Langsamkeit des Fortganges der nicht strahlenden Wärme durch die Luft berücksichtigt, wie sie oben nachgewiesen worden ist, so kann man nicht wohl auf die Idee kommen, dafs von der auf den Schirm fallenden und ihn durchdringenden Wärme ein Theil von seiner Hinterfläche durch die Luft zum Thermomultiplicator geleitet seyn sollte.

2 Poggendorff's Ann. XXXVII. 206.

Beiläufig möge, wegen der Wichtigkeit der Versuche, noch bemerkt werden, dafs die beiden Enden der thermoelektrischen Säule jede eine quadratische Fläche von 4,24 Centim. bildete; sie bestand aus 27,5 Paaren von Wismuth- und Antimonstäben, 32 Millim. lang, 2,5 breit und 1 Millim. dick. Um den Einflufs der eigenen Wärme der zu untersuchenden Schirme auf die kürzeste Weise zu entfernen, wurden zwei gleiche gewählt und auf gleichen Gestellen in gleiche Entfernung vor beide Enden der thermoelektrischen Säule gestellt, wodurch die Nadel sich auf 0 einstellte. Als Wärmequelle ist eine Argand'sche Lampe mit gereinigtem Oele am besten anwendbar, deren Wärme zwei Stunden lang unverändert bleibt. Um die Intensität dieser Wärmequelle stets gleich zu erhalten, wurde die Lampe ohne irgend einen Schirm in solche Entfernung gestellt, dafs die Nadel bis 30 Grad abwich; zur Ausscheidung sonstiger Strahlen diente ein grofser, in der Mitte durchbohrter, vor die Oeffnung der thermoelektrischen Säule gestellter Metallschirm, aufserdem aber war vor beiden Oeffnungen noch ein kupferner Schirm angebracht; es bedurfte demnächst nur, dafs eine Lampe von der andern Seite der Säule die Nadel wieder auf 0 zurückführte, und dann beide Schirme angebracht wurden, um den Nullpunct der Säule herzustellen und in kurzen Zeitfristen zu neuen Versuchen überzugehn, indem sonst das Gleichgewicht zwischen beiden Enden nur nach längerer Zeit wieder hergestellt wird.

313) Die erste Untersuchung bezog sich auf den *Einflufs der Oberfläche*, und es ergab sich, dafs auf gleiche Weise, als das Licht, auch die Wärme am leichtesten durch glatte Oberflächen dringt. Es ging dieses aus Versuchen mit 8 aus einer und derselben Scheibe geschnittenen, gleich dicken Schirmen von Spiegelglas hervor, deren Oberflächen einen Uebergang von der gröfsten Rauheit bis zur feinsten Politur bildeten. Die Ablenkungen der Nadel, deren Gröfse ohne die Schirme 30°, also corrigirt 35°,3 betrug, war der Reihe nach 5°,38; 6°,5; 8°,66; 12°,58; 14°,79; 17°,42; 18°,79; 19°,15. Die Resultate des ersten Versuchsreihe über den *Einflufs der Dicke* diathermaner Körper sind bereits (§. 311) erwähnt worden; wichtiger noch sind diejenigen, welche mit gereinigtem Rüböl erhalten wurden, weil die zunehmend dickeren Schichten dieser Flüssigkeit von weit homogenerer Beschaffenheit waren, als die

früher gebrauchten Glastafeln, in denen sich die ungleichen Streifen nicht vermeiden ließsen. Das Oel befand sich in kupfernen Kästen von gleichem Querschnitt, aber ungleicher Länge, die an ihren Enden mit gleichen Glasscheiben verschlossen und zwischen den durchbohrten Schirm und die Oeffnung des Thermomultiplicators gestellt wurden. Um den Einfluſs der Glasscheiben zu eliminiren, genügte es, einen der ungefüllten Kasten hinzusetzen und die Lampe so weit zu nähern, daſs die Nadel sich auf 30° (corr. 35°,3) einstellte, dann die Lampe durch einen Schirm zu bedecken, die Nadel wieder auf ihren Normalstand zurückgehn zu lassen und nach Wegnahme des Schirms die Messungen zu beginnen. Auf diese Weise wurden folgende einander zugehörige Gröſsen gefunden:

| Dicke der Flüssigkeit | Ablenkung | Dicke der Flüssigkeit | Ablenkung |
|---|---|---|---|
| 6,767 Millim. | 15°,642 | 54,139 Millim. | 9°,540 |
| 13,535 — | 12,831 | 81,209 — | 8,988 |
| 27,069 — | 10,389 | 108,279 — | 8,512 |

Drückt man auch hier die Gesammtmenge der Strahlen durch 1000 aus, so hat man folgende Gröſsen:

| Dicke der Schicht | durchgehende Strahlen | aufgefangene Strahlen |
|---|---|---|
| 6,767 Millim. | 443 | 557 |
| 13,535 — | 363 | 637 |
| 27,069 — | 294 | 706 |
| 54,139 — | 270 | 730 |
| 81,209 — | 255 | 745 |
| 108,279 — | 244 | 756 |

Man übersieht bald, daſs die Wärmeverluste mit der Dicke zunehmen, ohne daſs sich jedoch ein bestimmtes Gesetz hierfür herausstellt; so viel ist jedoch ersichtlich, daſs beim Eintritt[1] der Wärmestrahlen in die diathermanen Körper eine Menge derselben verloren gehe, der Rest aber sehr tief in diese Substanzen eindringe. Die bereits erwähnte merkwürdige Beob-

1 Es scheint mir wahrscheinlich, daſs auch beim Austritt der Wärme ein Verlust derselben statt findet, doch sind mir keine Versuche bekannt, die hierüber entscheiden.

achtung von Deloroche, dafs die durch eine erste Glasscheibe durchgegangenen Wärmestrahlen eine folgende mit weit geringerem Verluste durchdringen, wurde durch Melloni bestätigt, denn die Abweichungen der Nadel nach dem Zwischenbringen eines bis zu vier Glasschirmen waren 21°,62; 18°,75; 17°,10; 15°,90. Wird hierbei die Gesammtmenge der Strahlen durch 1000 ausgedrückt, so erhält man folgende Gröfsen:

| | Strahlen | |
|---|---|---|
| Zahl der Schirme | durchgelassene | aufgefangene |
| 1 | 619 | 381 |
| 2 | 531 | 469 |
| 3 | 484 | 516 |
| 4 | 460 | 540 |

und die Quotienten der Verluste, wenn die jedesmal vorhandene Menge als Einheit betrachtet wird, sind

0,381; 0,134; 0,087; 0,058.

Es findet also noch für die vierte Scheibe ein Verlust statt, die Gröfse desselben vermindert sich aber zunehmend, was um so auffallender ist, da die dunklen Wärmestrahlen um so weniger das Glas durchdringen, je geringere Intensität der Hitze sie besitzen.

314) Zunächst richtete Melloni seine Bemühungen auf die Beantwortung der Frage, welchen *Einflufs die Durchsichtigkeit* und *die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper* auf die Durchleitung der Wärmestrahlen ausübe, denn frühere Versuche deuteten zwar schon auf eine Ungleichheit dieses Durchstrahlungsvermögens bei verschiedenen Körpern, auch waren keine genügenden Thatsachen vorhanden, dasselbe der Durchsichtigkeit derselben direct proportional anzunehmen, es fehlte aber noch gänzlich an genauen, unter sich vergleichbaren Resultaten. Die nachfolgenden Versuche dienen dazu, dieses wichtige Problem aufzuklären. Um aus den zu untersuchenden Flüssigkeiten geeignete Schirme zu bilden, liefs Melloni in eine dicke Glasscheibe mit parallelen Flächen mehrere 2 Cent. Breite und 9 Cent. lange Oeffnungen einschneiden, legte auf beiden Seiten derselben flache Spiegelscheiben an, welche durch einen äufseren messingnen Rahmen mit vier Schrauben angedrückt wurden,

und füllte die so gebildeten Räume mit den Flüssigkeiten. Die mit diesen Apparaten erhaltenen Resultate machte er dadurch vergleichbar, daſs er ein Stück der genannten, hierzu genommenen dicken Spiegelscheibe zwischen die beiden bedeckenden Gläser legte und die Lampe so weit näherte, bis die Nadel bei Anwendung dieses Schirmes, in welchem die Glasplatte eine gleiche Dicke, als die Flüssigkeitsschicht besaſs, zugleich aber, wie diese, zwischen den beiden Glasplatten lag, welche die Flüssigkeitsschicht begrenzten, eine gleiche Abweichung von 19° zeigte, als wenn sie für sich allein angewandt wurde. Die erhaltenen relativen Gröſsen des Durchleitungsvermögens für strahlende Wärme sind nach den einzelnen Gruppen in folgender Tabelle zusammengestellt.

| Substanzen der Schirme. | Ablenkung | Durchfallende Strahlen |
|---|---|---|
| 1) Farblose Gläser, 1,88 Millim. dick. | | |
| Kein Schirm . . . . . . . . . | 30°,00 | 100 |
| Flintglas von Guinand . . . . | 22,90 | 67 |
| — englisches . . . . . . | 22,43 | 65 |
| — französisches . . . . | 22,36 | 64 |
| — anderer Art . . . . | 22,19 | 64 |
| Spiegelglas . . . . . . . . . . . . | 21,89 | 62 |
| — andere Art . . . . . . . | 21,10 | 60 |
| — noch andere Art . . . . | 20,78 | 59 |
| Kronglas, französisches . . . . | 20,58 | 58 |
| Fensterglas . . . . . . . . . . | 19,25 | 54 |
| — andere Art . . . . . . | 18,56 | 52 |
| — noch andere Art . . . | 17,83 | 50 |
| Kronglas, englisches . . . . . . | 17,22 | 49 |
| 2) Flüssigkeiten. Dicke 9,21 Millim. | | |
| Spiegelglas . . . . . . . . . . | 19°,10 | 53 |
| Schwefelkohlenstoff, farblos . . | 21,96 | 63 |
| Chlorschwefel, stark rothbraun . | 21,83 | 63 |
| Phosphorchlorür, farblos . . . . | 21,80 | 62 |
| Chlorkohlenwasserstoff, farblos . | 13,27 | 37 |
| Nuſsöl . . . . . . . . . . . . | 11,10 | 31 |
| Terpentinöl, farblos . . . . . . | 10,83 | 31 |
| Rosmarinöl, farblos . . . . . . | 10,46 | 30 |
| Rüböl, gelb . . . . . . . . . . | 10,38 | 30 |
| Olivenöl, grüngelb . . . . . . | 10,35 | 30 |

| Substanzen. | Ablenkung | Durchfallende Strahlen |
|---|---|---|
| Naphtha, natürliche, schwach braungelb . . . . . . . . . | 9°,77 | 28 |
| Copaivabalsam, merklich gelbbraun | 9,39 | 26 |
| Lavendelöl, farblos . . . . . . | 9,28 | 26 |
| Nelkenöl, schwach gelblich . . | 9,26 | 26 |
| Naphtha, rectificirte, farblos . . | 9,10 | 26 |
| Schwefeläther, farblos . . . . | 7,59 | 21 |
| Schwefelsäure, farblos . . . . | 6,15 | 17 |
| Nordhäuser Vitriolöl, merklich braun | 6,09 | 17 |
| Ammoniaklösung, farblos . . . | 5,47 | 15 |
| Salpetersäure, farblos . . . . | 5,36 | 15 |
| Alkohol, absoluter, farblos . . | 5,30 | 15 |
| Kalihydrat, farblos . . . . . | 4,63 | 13 |
| Essigsäure, rectificirte, farblos . | 4,35 | 12 |
| Holzsäure, brenzliche, schwach bräunlich . . . . . . . . . | 4,28 | 12 |
| Zuckerwasser, farblos . . . . | 4,20 | 12 |
| Alaunlösung, farblos . . . . . . | 4,16 | 12 |
| Kochsalzlösung, farblos . . . | 4,15 | 12 |
| Eiweifs, schwach gelb . . . . . . . | 4,00 | 11 |
| Wasser, destillirtes, farblos . . | 3,80 | 11 |
| 3) Krystallisirte Körper. Dicke 2,62 Millim. | | |
| Spiegelglas . . . . . . . . . . . . . | 21°,60 | 62 |
| Steinsalz, klar . . . . . . . . . . | 28,46 | 92 |
| Kalkspath, klar . . . . . . . . . | 21,80 | 62 |
| — andere Art, klar . . . | 21,30 | 61 |
| Bergkrystall, farblos, klar . . . . . | 21,64 | 62 |
| Rauchtopas, stark braun, klar . | 20,25 | 57 |
| Brasilianischer Topas, farblos, klar | 19,18 | 54 |
| Weifsbleierz, klar . . . . . . . . | 18,35 | 52 |
| weifser Achat, durchscheinend . | 12,48 | 35 |
| Schwerspath, klar, schielend gestreift . . . . . . . . . . | 11,72 | 33 |
| Aquamarin, klar, schwach blau . | 10,16 | 29 |
| Achat, gelber, durchscheinend . | 10,10 | 29 |
| Borax, durchscheinend . . . . . | 9,87 | 28 |
| Turmalin, grün, klar . . . . . | 9,54 | 27 |
| Adular, klar, schielend gestreift | 8,30 | 24 |
| Gyps, klar . . . . . . . . . . | 7,15 | 20 |
| Flufsspath, klar, schielend gestreift | 5,40 | 15 |
| Citronensäure, klar . . . . . . | 5,15 | 15 |
| Sardonyx, durchscheinend . . . | 4,98 | 14 |

| Substanzen. | Ablenkung | durchfallende Strahlen |
| --- | --- | --- |
| kohlensaures Ammoniak, klar, schielend gestreift . . . . . | 4°,50 | 13 |
| weinsaures Kalinatron, klar . . | 4,40 | 12 |
| Alaun, klar . . . . . . . . . | 4,36 | 12 |
| schwefelsaures Kupfer, klar, stark blau . . . . . . . . . . . | 0,0 | 0 |
| 4) Gefärbte Gläser. Dicke 1,85 Millim. | | |
| dunkelviolett . . . . . . . . | 18°,62 | 53 |
| gelblichroth . . . . . . . . . | 18,58 | 53 |
| purpurroth . . . . . . . . . | 18,10 | 51 |
| lebhaft roth . . . . . . . . | 16,54 | 47 |
| blafs violett . . . . . . . . | 16,08 | 45 |
| orangeroth . . . . . . . . . | 15,49 | 44 |
| hellblau . . . . . . . . . . | 15,00 | 42 |
| dunkelgelb . . . . . . . . . | 14,12 | 40 |
| schöngelb . . . . . . . . . | 12,08 | 34 |
| goldgelb . . . . . . . . . . | 11,75 | 33 |
| dunkelblau . . . . . . . . . | 11,60 | 33 |
| apfelgrün . . . . . . . . . | 9,15 | 26 |
| mineralgrün . . . . . . . . . | 8,20 | 23 |
| sehr dunkelblau . . . . . . . | 6,88 | 19 |

Der blofse Anblick dieser Tabelle zeigt, dafs die Durchsichtigkeit der Körper keineswegs ihrer Eigenschaft, die Wärmestrahlen durchzulassen, proportional ist. Um den auffallenden Unterschied in dieser Beziehung zwischen Alaun und Rauchtopas noch weiter zu prüfen, stellte Melloni vergleichende Versuche mit einem 1,5 Millim. dicken, ganz klaren Alaunblättchen und einem polirten, 86 Millim. dicken Rauchtopase an, welcher so dunkel war, dafs er, auf grobe Druckbuchstaben gelegt, diese am hellen Tageslichte nicht erkennen liefs; dennoch gab das Alaunblättchen nur 6°, der Rauchtopas aber 19° Abweichung der Magnetnadel. Inzwischen zeigten sich die Körper, bei denen alles Durchscheinen mangelt, als Metalle, Hölzer und Marmorarten, für Wärmestrahlen ganz undurchdringlich, woraus wieder ein gewisser Zusammenhang zwischen Licht und Wärme hervorzugehn scheint[1]. Bei den Flüssigkeiten

1 Dafs so viele Wärmestrahlen nach der Tabelle durch helles

fällt meistens die Diathermanie mit dem Brechungsvermögen zusammen, bei den krystallisirten Körpern ist dieses aber keineswegs der Fall. Vorzugsweise auffallend ist das grofse Wärmedurchlassungsvermögen des Steinsalzes in Vergleichung mit dem Glase, wie auch ohne künstliche Apparate wahrnehmbar ist, wenn man die Strahlen eines Küchenfeuers auf einen Würfel von Steinsalz und einen ähnlichen von Glas fallen läfst, in welchem Falle der letztere stark erhitzt wird, der erste aber nur unbedeutende Wärme annimmt. Beim Steinsalze ist aufserdem der geringe Einflufs der Dicke höchst merkwürdig, denn bei Schirmen von 2 und von 40 Millim. Dicke zeigte sich kein Unterschied in der Ablenkung der Nadel. Auch bei einem Kalkspathstücke von 92 Millim. Dicke ging die Ablenkung nur auf 18 ,5 Millim. herab, da sie bei 2,6 Millim. Dicke 21°,8 betrug. Die Richtung gegen die Krystallisationsaxe macht keinen Unterschied, wie sich bei gleich dicken Scheiben Bergkrystall zeigte, die in den verschiedensten Richtungen gegen diese Axe geschnitten waren.

315) In einer zweiten, gleich ausführlichen Abhandlung[1] prüft Melloni den Einflufs, welchen die *Ungleichheit der Wärmequelle* auf die Diathermanie der verschiedenen Körper ausübt. Hierbei war erforderlich, die entwickelte Wärme frei und nicht nach ihrem Durchgange durch Glas, wie früher beim Gebrauche der Argand'schen Lampe mit Glasschornstein geschehn war, anzuwenden, weswegen hierzu eine gewöhnliche Lampe mit einfachem Dochte[2], ein schraubenförmig gewundener, durch eine Weingeistflamme glühend erhaltener Platindraht, ein Kupferhut, welcher über einer Weingeistlampe eine constante Temperatur von 390° C. oder in runder Zahl 400° C.

---

Glas gehn, scheint mit dem (§. 311 Anm.) angeführten Versuche von Gahn im Widerspruch zu stehn; man mufs aber berücksichtigen, dafs eine Argand'sche Lampe eine weit gröfsere Weifse des Lichts hat, als ein Küchenfeuer; die starke Diathermanie des Rauchtopases stimmt übrigens mit jener Erscheinung gut überein.

1 Annales de Chim. et Phys. T. LV. p. 337. Poggendorff's Ann. XXXV. 385. 529.

2 Melloni gebrauchte eine *Locatelli'sche* Lampe; man sieht aber aus der Beschreibung, dafs jede gemeine Lampe mit einfachem Dochte und ohne Glasschornstein ausreicht, wenn ihre Flamme und daher die durch sie erzeugte Wärme lange genug sich gleich bleibt.

annahm, und ein geschwärztes, mit siedendem Wasser gefülltes Gefäfs von dünnem Kupferblech gewählt wurden. Diese verschiedenen Wärmequellen befanden sich stets in einem solchen Abstande vom Thermomultiplicator, dafs die Nadel desselben um 30° (corrig. 35°,3) abwich, und die erhaltenen Resultate sind daher unter sich vergleichbar.

316) Eine vorläufige Versuchsreihe war dazu bestimmt, zu erforschen, inwiefern die Dicke der diathermanen Körper auf die Menge der von verschiedenen Wärmequellen ausgehenden Strahlen einen Einflufs ausübt. Zu diesem Ende wählte Melloni sieben Glasplatten von zunehmender Dicke, setzte sie als Schirme den vier Wärmequellen aus und erhielt folgende Wärmestrahlen von 100, wenn L die Lampe, P den Platindraht, K das bis 390° oder 400° C. erhitzte Kupferhütchen und W das Gefäfs mit siedendem Wasser bezeichnen, welche als Wärmequelle dienten.

| Dicke der Scheiben | L | P | K | W |
|---|---|---|---|---|
| 0,07 Millim. | 77,0 | 57 | 24,0 | 12 |
| 0,5 — | 54,0 | 37 | 12,0 | 1 |
| 1,0 — | 46,0 | 31 | 9,0 | 0 |
| 2,0 — | 41,0 | 25 | 7,0 | 0 |
| 4,0 — | 37,0 | 20 | 5,0 | 0 |
| 6,0 — | 35,0 | 18 | 4,0 | 0 |
| 8,0 — | 33,5 | 17 | 3,4 | 0 |

Die Menge der durch diathermane Körper dringenden Wärmestrahlen nimmt mit der Dicke der Lamellen ab, aber für jede Wärmequelle in einem verschiedenen Verhältnisse, und zwar in einem der Intensität der Wärmequelle umgekehrt proportionalen. Nach früheren Versuchen von Ritchie, Delaroche und Andern schienen die dunklen Wärmestrahlen gar nicht durchzudringen, weil die von ihnen angewandten Lamellen immer noch nicht dünn genug waren, Melloni aber dehnte seine Versuche auf noch weit dünnere Lamellen aus, namentlich von Gyps und Glimmer, die sich sehr leicht spalten lassen, und fand, dafs die Mengen der von allen Wärmequellen durchdringenden Strahlen sich der Gleichheit um so mehr nähern, je dünner die Blättchen werden. Hieraus geht hervor, dafs die Wärmestrahlen nicht von der Oberfläche zurückgeworfen werden, sondern allerdings in das Innere der Körper eindringen und

hier erst verschwinden, oder, wie er sich ausdrückt, dafs die Wärmestrahlen von verschiedener Abkunft mehr oder weniger schnell im Innern einer und derselben Masse erlöschen, die Theilchen der Körper also auf die strahlende Wärme eine wirkliche Absorptionskraft ausüben und zwar eine desto stärkere, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist[1]. Zugleich zeigt sich ein merkwürdiger Unterschied der verschiedenen Körper rücksichtlich ihres Vermögens, die minder hellen Wärmestrahlen am Durchgehen zu hindern, wie folgende Tabelle zeigt, worin die obigen Bezeichnungen der Wärmequellen beibehalten und die Mengen der durchgelassenen Strahlen angegeben sind.

---

1 Melloni scheint mir in Gefahr, sich selbst und Andere in einen Irrthum zu verstricken und dadurch einen Hauptumstand zu übersehen, wenn er bei dem Satze stehen bleibt, dafs die Wärmestrahlen um so weniger die Körper durchdringen, je geringer die Hitze der Wärmequelle ist. Allerdings ist die Intensität der Hitze einer Kerzenflamme gröfser, als die eines Gefäfses mit siedendem Wasser, denn die Hitze wächst mit zunehmender Lichtentwickelung vom dunklen Körper bis zum weifsglühenden; allein bei den vorliegenden Versuchen war die Intensität der Wärme da, wo sie auf die Schirme fiel, allezeit gleich, denn die Wärmequelle wurde sehr zweckmäfsig und wegen der Nothwendigkeit, vergleichbare Resultate zu erhalten, so viel näher gerückt, dafs die Nadel ohne Schirm bis 30° abwich. Diesemnach wurden von den gleich intensiven Wärmestrahlen mehr von den dunklen, als von den leuchtenden absorbirt, und hiervon mufs die Ursache nothwendig in ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit liegen. Die mit Lichtstrahlen verbundenen oder zugleich Licht entwickelnden Wärmestrahlen, obgleich an Intensität den dunklen nicht überlegen, sind daher insofern von ihnen verschieden, als sie tiefer in die Körper eindringen und dieselben leichter durchdringen. Dafs übrigens diathermane Körper gar keine Wärmestrahlen von der Oberfläche zurückwerfen sollen, kann wohl nicht in ganzer Strenge gelten, denn Melloni selbst giebt (§. 324) die Gröfse der Reflexion der Wärmestrahlen von der Oberfläche des Bergkrystalls an, und Forbes erhielt unzweideutige Spuren der Polarisation durch Reflexion (§. 333).

| Substanzen, 2,6 Millim. dick. | L | P | K | W |
|---|---|---|---|---|
| Steinsalz, klar, farblos . . . . | 92 | 92 | 92 | 92 |
| Flufsspath, klar, farblos . . . | 78 | 69 | 42 | 33 |
| Steinsalz, durchsichtig, schielend | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Beryll, klar, grüngelb . . . . | 54 | 23 | 13 | 0 |
| Flufsspath, klar, grünlich . . . | 46 | 38 | 24 | 20 |
| Kalkspath, klar, farblos . . . | 39 | 28 | 6 | 0 |
| — klar, farblos . . . . | 39 | 28 | 5 | 0 |
| Spiegelglas, klar, farblos . . . | 39 | 24 | 6 | 0 |
| — klar, farblos . . . . | 38 | 26 | 5 | 0 |
| Bergkrystall, klar, farblos . . . | 38 | 28 | 6 | 0 |
| Rauchtopas, klar, braun . . . | 37 | 28 | 6 | 0 |
| saures chroms. Kali, klar, orange | 34 | 28 | 15 | 0 |
| Topas, klar, farblos . . . . . | 33 | 24 | 4 | 0 |
| Weifsbleierz, klar, farblos . . . | 32 | 23 | 4 | 0 |
| Schwerspath, klar, schwach-schielend . . . . . . . . | 24 | 18 | 3 | 0 |
| Achat, durchscheinend, weifs . . | 23 | 11 | 2 | 0 |
| Adular, klar, schielend, gestreift | 23 | 19 | 6 | 0 |
| Amethyst, klar, violett . . . . | 21 | 9 | 2 | 0 |
| Bernstein, künstlicher, klar, gelb | 21 | 5 | 0 | 0 |
| Aquamarin, klar, blaugrün . . . | 19 | 13 | 2 | 0 |
| Achat, durchscheinend, gelb . . | 19 | 12 | 2 | 0 |
| Borax, durchscheinend, weifs . . | 18 | 12 | 8 | 0 |
| Turmalin, klar, dunkelgrün . . | 18 | 16 | 3 | 0 |
| Ochsenhorn, durchscheinend, braun | 18 | 4 | 0 | 0 |
| Gummi, gemeines, klar, gelblich | 18 | 3 | 0 | 0 |
| Schwerspath, klar, schielend, gestreift . . . . . . . . . | 17 | 11 | 3 | 0 |
| Gyps, klar, farblos . . . . . | 14 | 5 | 0 | 0 |
| Sardonyx, durchscheinend, braun | 14 | 7 | 2 | 0 |
| Citronensäure, klar, farblos . . | 14 | 2 | 0 | 0 |
| kohlens. Ammoniak, klar, schielend, gestreift . . . . . . | 12 | 3 | 0 | 0 |
| weins. Kalinatron, klar, farblos | 11 | 3 | 0 | 0 |
| Bernstein, natürl., durchscheinend, gelb . . . . . . . . . | 11 | 5 | 0 | 0 |
| Alaun, klar, farblos . . . . . | 9 | 2 | 0 | 0 |
| Leim, klar, gelbbraun . . . . | 9 | 2 | 0 | 0 |
| Perlmutter, durchscheinend, weifs | 9 | 0 | 0 | 0 |
| Kandiszucker, klar, farblos . . | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Flufsspath, durchscheinend, grün | 8 | 6 | 4 | 0 |
| Zucker, geschmolzener, klar, gelblich . . . . . . . . . | 7 | 0 | 0 | 0 |
| Eis, sehr rein, klar, farblos . . | 6 | 0 | 0 | 0 |

Aus diesen Versuchen geht das wichtige Resultat hervor, dafs es Wärmestrahlen von verschiedener Beschaffenheit giebt, indem einige von gewissen Körpern mehr als andere absorbirt werden. Eben dieses zeigt sich auch, wenn man gleich intensive Wärmestrahlen einer Lampe, nachdem sie durch ein schwarzes undurchsichtiges Glas gegangen sind, die freien des glühenden Platins, des 400⁰ heifsen Kupfers und des Wassergefäfses durch eine 1 bis 2 Millim. dicke Glasscheibe auf die Säule fallen läfst. Nennt man die Menge der durch die Glasscheibe gedrungenen Strahlen für die erste Wärmequelle 1, so ist sie für die zweite 0,7 bis 0,8; für die dritte 0,12 bis 0,15; für die vierte endlich 0, obgleich in allen vier Fällen dunkle Wärme vorhanden ist[1]. Am merkwürdigsten in dieser Beziehung ist das Steinsalz, welches unter allen untersuchten Körpern allein von den verschiedenen Wärmestrahlen eine gleiche Menge absorbirt und durchläfst. Dieselbe Erfahrung zeigt sich auch dann, wenn die Wärmequellen eine noch geringere Intensität haben, z. B. wenn man sie von Gefäfsen ausströmen läfst, in denen sich nur bis 45° C. erwärmtes Wasser befindet, wie nicht minder bei der Anwendung dickerer Schirme, insofern Steinsalzplatten von 15 bis 20 Millim. Dicke von allen vier Wärmequellen eine gleiche Menge durchlassen. Melloni vergleicht dieses mit dem Durchlassen der Lichtstrahlen durch verschiedenfarbige Gläser, indem nur die mit den farbigen Medien gleiche Farben besitzenden Lichtstrahlen frei durch diese dringen, die andern aber absorbirt werden, und es wären demnach die dunkleren Wärmestrahlen den farbigen Lichtstrahlen ähnlich, die nur durch gewisse Körper dringen, die von der Sonne oder einer hellglänzenden Flamme ausgehenden aber dem weifsen Lichte. Die Körper zerfallen hiernach in *diathermane* und *athermane*, und die ersteren wieder in *universelle* und *partielle*, wobei es nur eine einzige universell diathermane, den farblosen Mitteln zu vergleichende Substanz giebt, das Steinsalz; alle übrige aber, die den farbigen durchsichtigen Substanzen analog sind, gehören zu den partiellen. Man nimmt meistens an, und dieser Ansicht war anfangs auch Melloni, dafs alle nicht diaphane Körper zugleich atherman sind, allein Versuche mit schwarzem Glase und schwarzem Glimmer,

---

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 211.

die das intensivste Sonnenlicht vollständig auffingen, zeigten sich nach folgender Tabelle, worin die nämlichen Bezeichnungen beibehalten sind, als partiell diathermane:

| | L | P | K | W |
|---|---|---|---|---|
| schwarzes Glas, 1 Millim. dick . . | 26 | 25 | 12 | 0 |
| — — 2 — — . . | 16 | 15,5 | 8 | 0 |
| schwarzer Glimmer, 0,6 Millim. dick | 29 | 28 | 13 | 0 |
| — — 0,9 — — | 20 | 20 | 9 | 0 |

Was früher Delaroche beobachtete und Melloni bestätigt fand, dafs Wärmestrahlen, wenn sie durch eine diathermane Platte gedrungen sind, durch eine zweite mit geringerem Verluste dringen, zeigt sich gleichfalls dem Verhalten des Lichtes analog, denn die weifsen Lichtstrahlen verlieren viel beim Durchfallen durch eine farbige Glasplatte, die durch diese gedrungenen farbigen aber verlieren nur wenig, wenn sie eine zweite Platte von gleicher Farbe durchdringen.

317) Bedient man sich der nämlichen Wärmequelle, aber von ungleicher Intensität, so scheint es, als müsse man annehmen, dafs die unter übrigens gleichen Bedingungen erzeugte Wärme den Intensitäten direct proportional seyn werde, allein die Versuche bestätigten dieses nicht. Hierbei diente ein hohler Würfel von dünnem Metallblech mit heifsem Wasser gefüllt, welcher die Wärme aus seiner mit Kienrufs überzogenen Fläche aus gleichen Entfernungen gegen die thermoelektrische Säule strahlen liefs. Die Temperatur des Wassers wurde durch Thermometer gemessen, und die folgende Tabelle enthält unter T die Temperatur des Wassers, unter t den Ueberschufs über die äufsere Temperatur und unter $\Theta$ die Grade der Temperatur, welche die Säule anzeigte, alle nach der hunderttheiligen Scale.

| T | t | $\Theta$ | T | t | $\Theta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 100° | 75° | 35°,58 | 60° | 35° | 12°,21 |
| 94 | 69 | 30,81 | 55 | 30 | 9,85 |
| 90 | 65 | 28,25 | 50 | 25 | 7,75 |
| 85 | 60 | 25,23 | 45 | 20 | 5,34 |
| 80 | 55 | 22,40 | 40 | 15 | 3,60 |
| 75 | 50 | 19,68 | 35 | 10 | 2,05 |
| 70 | 45 | 17,01 | 30 | 5 | 0,92 |
| 65 | 40 | 14,45 | | | |

Sucht man die Quotienten $\Theta : t$, so sind sie einander durchaus nicht gleich, wie zu erwarten wäre, sondern $\frac{35,58}{75} = 0,4577$; $\frac{19,68}{50} = 0,3936$; $\frac{5,34}{20} = 0,267$ u. s. w. Man mufs also annehmen, dafs die Wärmestrahlen beim Durchgange durch die geschwärzte Metallplatte einen mit der Abnahme ihrer Intensität wachsenden Verlust erlitten[1].

318) Die Wärmestrahlen zeigen, wie die Lichtstrahlen, die Fähigkeit gebrochen zu werden, und da das Steinsalz der einzige universell diathermane Körper ist, so mufs man diesen bei den Versuchen über die *Refraction* der Wärmestrahlen in Anwendung bringen. Nach früheren Versuchen gaben Glaslinsen gegen ein Küchenfeuer gehalten zwar einen hellen Brennpunct, allein dieser hatte nur eine geringe Wärmeintensität, und Scheele[2] behauptete, ein Thermometer steige in demselben gar nicht, wogegen jedoch Herschel und Brande[3] fanden, dafs einige mefsbare Wärme vorhanden sey, ohne Zweifel deswegen, weil sie ein heller brennendes Feuer anwandten. Die Brechbarkeit, selbst der ganz dunklen Wärmestrahlen, wurde aber durch folgenden Versuch unwiderlegbar entschieden.
Fig. 59. Melloni stellte das Gefäfs mit siedendem Wasser hinter den Schirm, und die thermoelektrische Säule S so, dafs die nach O fortgepflanzten Wärmestrahlen sie nicht treffen konnten, weswegen die Magnetnadel auf 0 stehn blieb. Darauf stellte er auf das Tischchen G ein Steinsalzprisma vertical, die hierdurch gebrochenen Wärmestrahlen fielen auf die Säule, und die Nadel zeigte augenblicklich die Erwärmung der thermoelektrischen Säule. Dafs dieses keine Folge der Erhitzung des Prisma's sey, ergab sich deutlich; denn wenn man den brechenden Winkel desselben umkehrte, ging die Nadel sofort auf 0 zurück. Eine interessante Frage hierbei war, ob die von ungleichen Wärmequellen ausgehenden Strahlen eine verschiedene
Fig. 60. Brechbarkeit zeigen. Um dieses auszumitteln, stellte Melloni eine thermoelektrische Säule M von 15 über einander liegenden

---

1 Möglicherweise könnte dieser Verlust auch ganz oder zum Theil vom Durchgange durch die Luft herrühren.

2 Dessen Werke Th. I. S. 125.

3 Philos. Trans. 1800 und 1820.

Paaren Wismuth und Antimon auf das Lineal D, welches auf dem Kreisbogen AB verschiebbar lag. Die Wärmestrahlen von dem glühenden Platindrahte wurden durch das Steinsalzprisma gebrochen, und die thermoelektrische Säule so lange verschoben, bis die Nadel die gröfste Intensität der Wärme zeigte. Wurde dann statt des Platins die Lampe hingestellt, so mufste das Lineal etwa zwei Linien weiter nach B geschoben werden, um die gröfste Wärmeintensität zu erhalten, und um drei Linien nach A zu, wenn das erhitzte Kupferhütchen angewandt wurde; das Gefäfs mit siedendem Wasser hatte zu geringe Intensität, als dafs eine genaue Messung damit gestattet wäre. Hiernach sind also die dunkleren, weniger intensiven Wärmestrahlen die am wenigsten brechbaren, so wie die am meisten leuchtenden farbigen Lichtstrahlen eine geringere Brechung erleiden, als die minder leuchtenden. Eine Linse aus Steinsalz gewährt hiernach die Vortheile, dafs man damit geringe Wärmemengen concentriren oder auch die Strahlen einer intensiveren Wärmequelle, wenn man letztere in den Brennpunct der Linse bringt, weit fortpflanzen kann.

319) Die hieraus hervorgehende auffallende Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Lichtes und der Wärme mufste nothwendig die Frage veranlassen, ob sich bei den Strahlen der letzteren nicht auch eine Art von *Polarisation* zeige. Das Wenige, was Delaroche und Berard in dieser Beziehung mitgetheilt haben, wovon bereits die Rede war, ist von geringer Bedeutung, eine eigene Polarisation der Wärmestrahlen dagegen ist zuerst durch Forbes aufgefunden worden, wie sogleich erwähnt werden soll; wir wollen aber, um den Zusammenhang nicht zu unterbrechen, die durch Melloni anfangs erhaltenen verneinenden Resultate hier vorläufig erwähnen. Da die Lichtpolarisation leicht durch Turmalinplatten bewirkt wird, welche der Krystallisationsaxe parallel geschnitten sind, so klebte Melloni über die vierkantige Oeffnung einer Kupferplatte mit etwas Wachs eine Turmalinplatte, deren Axe einer der Seiten parallel war, legte eine zweite ebenso vorgerichtete Kupferplatte darüber, verfertigte sich auf die nämliche Weise eine zweite solche Platte, und brachte beide als Schirm in seinen Apparat, konnte aber keinen Unterschied wahrnehmen, wenn die Axen der Turmaline einander parallel oder sich rechtwinklig schneidend waren, auch konnten sie sich, ohne irgend einen

Einfluſs zu äuſsern, in sonstigen Winkeln schneiden, und er folgerte also hieraus, daſs die irdischen Wärmestrahlen durch Turmalinplatten nicht polarisirbar seyen. Ein eigenthümliches Verhalten zeigten diese Strahlen dagegen, wenn sie durch eine diathermane Platte gegangen noch eine zweite durchdringen muſsten. Man nehme an, daſs die durch eine Platte Citronensäure fallenden Strahlen eine Ablenkung der Nadel von 30° bewirkten. Wurde dann eine Platte Alaun so gestellt, daſs die durch die Citronensäure gegangenen Strahlen diese gleichfalls durchdringen muſsten, ehe sie zur thermoelektrischen Säule gelangten, so ging die Magnetnadel nur um 3 bis 4 Grade zurück. Statt der Alaunplatte konnten auch andere Substanzen gewählt werden, Melloni behielt aber diese bei, lieſs die Strahlen vorher durch andere Platten als die Citronensäure fallen, und erhielt dann die in nachfolgender Tabelle angegebenen Werthe, indem die erste Columne die Schirme bezeichnet, durch welche 100 Strahlen auf die Alaunplatte fielen, die zweite aber diejenige Menge, welche von diesen durch die Alaunplatte drangen.

| Schirme. | Strahlen. |
|---|---|
| Kein Schirm . . . . . . . . | 9 |
| schwarzer Glimmer, undurchsichtig | 2 |
| grüner Turmalin . . . . . . | 7 |
| Steinsalz, klar . . . . . . . | 9 |
| Steinsalz, schielend . . . . . | 9 |
| Borax . . . . . . . . . . . | 11 |
| Schwerspath . . . . . . . . | 12 |
| Adular . . . . . . . . . . | 14 |
| saures chromsaures Kali . . . . | 14 |
| weiſser Glimmer . . . . . . | 15 |
| Beryll . . . . . . . . . . | 19 |
| Aquamarin . . . . . . . . . | 19 |
| Kalkspath . . . . . . . . . | 22 |
| Perlachat . . . . . . . . . | 24 |
| gelber Achat . . . . . . . . | 24 |
| Bergkrystall . . . . . . . . | 25 |
| Spiegelglas . . . . . . . . . | 27 |
| gelber Bernstein . . . . . . | 30 |
| kohlensaures Ammoniak . . . . | 31 |
| Gummi . . . . . . . . . . | 45 |
| Gyps . . . . . . . . . . . | 72 |
| weinsaures Kalinatron . . . . | 80 |
| Citronensäure . . . . . . . . | 85 |
| Alaun . . . . . . . . . . . | 90 |

Die Aehnlichkeit, welche sich hiernach zwischen den Wärmestrahlen und Lichtstrahlen herausstellt, insofern Wärmestrahlen, die bereits durch ein absorbirendes Medium gedrungen sind, in einem zweiten mehr oder weniger verlieren, bezieht sich nicht sowohl auf die Polarisation, als vielmehr auf die Eigenschaft, dafs Lichtstrahlen, die durch farbige Medien gedrungen sind, andere gleichfarbige leichter durchdringen, als anders gefärbte. Melloni gebraucht hierfür den ihm von Ampère angegebenen Ausdruck *Diathermansie*, insofern Citronensäure, Gyps u. s. w. eine dem Alaum sehr ähnliche, Steinsalz, Borax u. s. w. aber eine sehr verschiedene Diathermansie besitzen.

320) Melloni brachte nochmals die Frage zur Untersuchung, ob die Farbe des Glases einen Einflufs auf die Diathermanie habe, und erhielt aus seinen Versuchen mit gefärbten Glasplatten, sämmtlich 1,85 Millim. dick, folgende unter A angegebene, von 100 durchgelassene Strahlen; drangen aber 100 Strahlen durch die nämlichen gefärbten Gläser und dann durch eine Alaunplatte, so liefs letztere die unter B angegebenen hindurch.

| Gefärbte Gläser | A | B |
|---|---|---|
| weifses Glas . . . . . . . . . | 40 | 27 |
| dunkelrothes Glas . . . . . | 33 | 27 |
| orangefarbenes Glas . . . . | 29 | 27 |
| lebhaft gelbes Glas . . . . . | 22 | 27 |
| apfelgrünes Glas . . . . . . | 25 | 5 |
| mineralgrünes Glas . . . . . | 23 | 3 |
| blaues Glas . . . . . . . . . | 21 | 27 |
| indigofarbiges Glas . . . . . | 12 | 27 |
| violettes Glas . . . . . . . | 34 | 27 |
| schwarzes, undurchsichtiges Glas . . . . . . . . . | 17 | 1 |

Hieraus geht hervor, dafs jede Färbung des Glases seine Diathermanie schwächt, eine bestimmte Reihenfolge aber, wie die abnehmende Wärme in den farbigen Strahlen des Spectrums, findet nicht statt; die Diathermansie wird, mit Ausnahme der grünen und schwarzen Färbung, durch die Farben nicht abgeändert, sondern ist der beim ungefärbten Glase gleich, wobei jedoch zu bemerken, dafs der Alaun für sich bei gleicher

Dicke der Platte von 100 Strahlen nur 9 durchliefs, mithin alle gefärbte Gläser, mit Ausnahme der grünen und des schwarzen, die Wärmestrahlen so modificirten, dafs von ihnen dann dreimal so viel durch die Alaunplatte drangen. Warum namentlich das grüne, mit Kupfer gefärbte Glas hiervon eine Ausnahme macht, ist allerdings schwer zu entziffern.

321) Das angegebene Verfahren läfst sich auch umkehren, wenn man, anstatt die Wärmestrahlen erst durch die genannten diathermanen Substanzen und dann durch die Alaunplatte fallen zu lassen, sie vielmehr zuerst durch die Alaunplatte und dann durch sonstige diathermane Substanzen dringen läfst. Da man aber statt der Alaunplatte auch Platten von jeder andern Substanz wählen kann, so giebt dieses eine ausnehmend grofse Menge von Combinationen. Melloni hat seine Versuche nur auf fünf Substanzen ausgedehnt und die erhaltenen Resultate in einer Tabelle neben einander gestellt. In dieser sind in der ersten Columne diejenigen Substanzen genannt, welche zwischen die Alaunplatte oder eine Platte aus den andern vier Substanzen und die thermoelektrische Säule gestellt werden und auf welche jederzeit 100 Wärmestrahlen aus der vor ihnen befindlichen, der Wärmequelle zugewandten Platte fallen, in den folgenden Columnen sind aber die Mengen von Wärmestrahlen genannt, welche sie von diesen 100 Strahlen durchlassen, die aus einem der vor ihnen befindlichen diathermanen Schirme auf sie fallen, und zwar

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| in Columne | A, | wenn der Schirm eine | Alaunplatte | von | 2,6 | Millim., |
| — | — G, | — — — | — Gypsplatte | — | 2,6 | — — |
| — | — K, | — — — | — Platte von chroms. Kali | — | 2,6 | — — |
| — | — gG, | — — — | — grüne Glasplatte | — | 1,85 | — — |
| — | — sG, | — — — | — schwarze Glasplatte | — | — | — — |

Dicke ist.

| Platten[1]. | A | G | K | gG | sG |
|---|---|---|---|---|---|
| Steinsalz . . . . . . | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 |
| Flusspath . . . . . . | 90 | 91 | 88 | 90 | 91 |
| Beryll . . . . . . . . | 80 | 91 | 66 | 70 | 57 |
| Kalkspath . . . . . . | 91 | 89 | 56 | 59 | 55 |
| Glas, 0,5 Millim. dick . . | 90 | 85 | 68 | 87 | 80 |
| Glas, 8 Millim. dick . . | 90 | 82 | 47 | 56 | 45 |
| Bergkrystall . . . . . | 91 | 85 | 52 | 78 | 54 |
| saures, chroms. Kali . . | 57 | 53 | 71 | 28 | 24 |
| Schwerspath . . . . . . | 36 | 47 | 25 | 60 | 57 |
| weisser Achat . . . . . | 70 | 78 | 30 | 43 | 17 |
| Adular . . . . . . . . | 23 | 58 | 43 | 50 | 23 |
| Bernstein . . . . . . . | 65 | 61 | 20 | 13 | 8 |
| Glimmer, schwarzer, opaker, 0,9 Millim. dick . . . | 0,4 | 12 | 16 | 38 | 43 |
| Achat, gelber . . . . . | 57 | 64 | 24 | 35 | 14 |
| Aquamarin . . . . . . | 60 | 57 | 26 | 20 | 21 |
| Borax . . . . . . . . . | 23 | 33 | 23 | 30 | 24 |
| Turmalin, grüner . . . | 1 | 10 | 14 | 24 | 30 |
| Gummi, gemeines . . . | 61 | 52 | 12 | 6 | 4 |
| Gyps . . . . . . . . | 59 | 54 | 22 | 9 | 15 |
| Gyps, 12 Millim. dick . | 56 | 45 | 17 | 5 | 0,4 |
| Ammoniak, kohlensaures . | 44 | 34 | 11 | 6 | 5 |
| Citronensäure . . . . . . | 88 | 52 | 16 | 3 | 2 |
| weinsaures Kalinatron . . | 85 | 60 | 15 | 2 | 1 |
| Alaun . . . . . . . . | 90 | 47 | 15 | 0,5 | 0,3 |
| weisses Glas[2] . . . . | 90 | 83 | 50 | 67 | 55 |
| violettes Glas . . . . . | 76 | 72 | 42 | 56 | 47 |
| rothes Glas . . . . . . | 74 | 69 | 41 | 54 | 45 |
| orangefarbenes Glas . . . | 65 | 58 | 36 | 48 | 39 |
| apfelgrünes Glas . . . . | 3 | 20 | 22 | 55 | 50 |
| mineralgrünes Glas . . . | 1 | 15 | 19 | 52 | 58 |
| gelbes Glas . . . . . . | 49 | 46 | 27 | 35 | 30 |
| blaues Glas . . . . . . | 47 | 42 | 26 | 34 | 29 |
| schwarzes undurchsichtiges Glas . . . . . . . . | 0,5 | 18 | 11 | 42 | 52 |
| indigofarbiges Glas . . . | 27 | 26 | 14 | 20 | 17 |

1 Die Dicke derselben betrug bei allen 2,6 Millim. Ausnahmen hiervon sind besonders angegeben worden.

2 Die Dicke dieses und der folgenden Gläser betrug 1,85 Millimeter.

Melloni zeigt an einigen Beispielen, dafs die Stellung der Platten auf den Durchgang der Wärmestrahlen keinen Einflufs hat, indem sich dasselbe Verhältnifs zeigt, wenn die nämlichen Platten sich abwechselnd in der vorderen oder hinteren Stelle befinden. Nimmt man z. B. Alaun und chromsaures Kali, so lassen diese für sich von 100 Wärmestrahlen 9 und 34 durch. Sollen sie daher 100 Strahlen durchlassen, so hätte man die Proportionen:

$$9:100 = 100:x \quad \text{und}$$
$$34:100 = 100:x,$$

welches 1111 für Alaun und 294 für chromsaures Kali giebt. Wenn aber das chromsaure Kali von Alaun 100 Strahlen empfängt, so läfst es 57 durch, und wenn der Alaun vom chromsauren Kali 100 empfängt, so läfst er 15 durch, beides nach Angabe der Tabelle. Es ist aber wirklich

$$57:15 = 1111:294,$$

woraus der angegebene Satz folgt. Dagegen zeigen sich die Körper ungleich diatherman für die bereits durch einen andern Körper durchgegangenen und die unmittelbar auf sie fallenden Strahlen. So sind Glas, Kalkspath und Bergkrystall diathermaner für die durch alle fünf in der Tabelle enthaltenen Körper durchgefallenen Strahlen, als für die, welche von der Wärmequelle unmittelbar ausgehn, Citronensäure und weinsaures Kali aber sind für die durch Alaun und Gyps gedrungenen Strahlen permeabeler, für die durch grünes und schwarzes Glas gedrungenen dagegen weniger permeabel, als für die von der Wärmequelle selbst kommenden. Undurchsichtiger Glimmer und Turmalin wirken im entgegengesetzten Sinne und überhaupt findet in dieser Beziehung kein allgemeines Gesetz statt, weswegen es um so merkwürdiger ist, dafs das Steinsalz keinem dieser Wechsel unterliegt, indem es stets die nämliche Menge von Wärmestrahlen durchläfst, sie mögen von der Wärmequelle unmittelbar ausgegangen seyn oder bereits andere Körper durchdrungen haben. Die durch Alaun durchgegangenen Strahlen haben die Eigenschaft erhalten, dafs sie alle farblosen Körper in grofser Menge durchdringen, durch farbige aber stark absorbirt werden, die durch grünes und schwarzes Glas gegangenen dagegen haben gerade die entgegengesetzte Eigenschaft, indem sie opake Körper leicht durchdringen, von durchsichtigen

aber stark absorbirt werden; erstere gleichen daher mehr den von der Sonne ausgehenden, letztere mehr den von dunklen Wärmequellen ausgehenden Wärmestrahlen. Um diesen Unterschied der Wärmestrahlen noch weiter zu prüfen, liefs Melloni Sonnenstrahlen durch eine mit grünem Glase bedeckte Oeffnung in ein dunkles Zimmer auf die geschwärzte Kugel eines Differentialthermometers fallen. Die Flüssigkeit sank durch die entbundene Wärme sogleich bedeutend, kehrte nur wenig zurück, als dicht bei der Oeffnung eine klare Glasplatte eingeschoben wurde, aber sehr merklich, als statt ihrer eine Alaunplatte diente. Die rückgängige Bewegung der Flüssigkeit wurde bemerkbarer, als die dünne Glasplatte weggenommen und statt ihrer eine dickere hingehalten ward, sobald aber eine Platte Steinsalz an deren Stelle kam, sank die Flüssigkeit augenblicklich zu ihrer vorigen Tiefe. Melloni folgert hieraus, *dafs im Sonnenlichte eben solche verschiedene Wärmestrahlen gemischt sind, als in dem von irdischen leuchtenden Körpern ausgehenden.* Hiernach giebt es nur einen einzigen diaphanen und farblosen Körper, welcher auf Licht- und Wärmestrahlen auf gleiche Weise einwirkt, alle übrige lassen Licht von jeglicher Art ohne Unterschied durchgehn, absorbiren aber gewisse Wärmestrahlen und lassen andere durchgehn. Dieses ist die Eigenschaft, welche Melloni durch den Ausdruck: *Diathermansie* bezeichnet, eine Art von Färbung für Wärmestrahlen, insofern sie auf die verschiedenen Arten der Wärmestrahlen auf ähnliche Art wirken, als farbige diaphane Körper auf die verschieden gefärbten Lichtstrahlen. Gewöhnliche Linsen und Prismen von Glas können daher nur einen gewissen Theil der strahlenden Wärme brechen, denn das Glas absorbirt einige der aus leuchtenden Wärmequellen abstammenden Strahlen und absorbirt fast die Gesammtheit der dunklen Wärmestrahlen.

322) Melloni hat noch eine Eigenthümlichkeit der durch diathermane Körper durchgegangenen Wärmestrahlen weiter verfolgt, die zuerst durch Baden Powell[1] aufgefunden wurde. Dieser liefs die Strahlen einer Argand'schen Lampe und ei-

---

1 Report of the first and second Meetings cet. p. 274. Poggendorff's Ann. XXI. 316. London and Edinburgh Phil. Mag. N. XLII. p. 475.

nes rothglühenden Eisens aus gleichen Entfernungen auf eine *schwarz* und eine *weifs* gefärbte Kugel zweier empfindlicher Thermometer fallen und erhielt für das glühende Eisen das Verhältnifs 100:78, für die Argand'sche Lampe aber 100:72; als er aber eine Glasplatte dazwischen schob, wurden diese Verhältnisse in 100:50 und 100:57 verwandelt. Melloni dehnte diese Versuche noch auf verschiedene andere Glassorten aus, und bediente sich dazu seines Thermomultiplicators, dessen eine Fläche er mit Kienrufs, die andere mit Bleiweifs, beide vermittelst Gummiwassers, überzog. Dieser Apparat gewährte den Vortheil, dafs er sich umdrehn liefs, um die eine und die andere Seite in gleicher Entfernung der Wärmequelle, und zwar der von ihm gebrauchten Lampe ohne Schirm, entgegenzurichten, auch wurde dadurch die bei Thermometern so leicht statt findende Ungleichheit derselben unter einander vermieden. Wird dann die Menge der durch die verschiedenen Körper dringenden und von der schwarzen Fläche aufgenommenen Wärmestrahlen durch 100 ausgedrückt, so betrug die Menge der von der weifsen aufgenommenen, nach der Wirkung auf die Magnetnadel:

| Zwischengebrachte Schirme. | Strahlen |
|---|---|
| Lampe ohne Schirm . . . . | 80,5 |
| Schirm von Steinsalz . . . | 80,5 |
| — — Alaun . . . . . | 42,9 |
| — — farblosem Glase . | 54,2 |
| — — hellrothem Glase . | 60,6 |
| — — dunkelrothem Glase | 77,8 |
| — — hellgelbem Glase . | 55,5 |
| — — dunkelgelbem Glase | 63,6 |
| — — hellgrünem Glase . | 67,4 |
| — — dunkelgrünem Glase | 70,5 |
| — — hellblauem Glase . | 61,0 |
| — — dunkelblauem Glase | 66,9 |
| — — hellviolettem Glase | 67,6 |
| — — dunkelviolettem Glase | 76,7 |
| — — undurchsichtigem schwarzem Glase . | 84,6 |

Die Alaunplatte absorbirt hiernach die meisten Strahlen, welche eine weifse Fläche aufzunehmen vermag, oder welche in diese einzudringen vermögen, eine farblose mehr als alle gefärbte, und

von den letzteren die dunkleren weniger, als die helleren, ja ein undurchsichtiges schwarzes Glas bewirkt sogar, dafs die weifse Fläche mehr Strahlen aufnimmt, als ohne die Dazwischenkunft einer solchen Platte[1].

323) Hierher gehört dann auch der oben (§. 264 ff.) bereits erwähnte Unterschied zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärmestrahlen. Beides sollte für die nämlichen Körper gleich seyn, allein die genannten Versuche zeigten einen bedeutenden Unterschied, und dieser blieb beständig bei Wiederholung derselben, wonach also die Ursache nicht in Beobachtungsfehlern liegen kann. Die Sache findet aber ihre Erklärung einfach darin, dafs man aufser der Intensität der Wärmestrahlen zugleich die Diathermansie berücksichtigen mufs. Man übersieht dieses sehr deutlich, wenn die Strahlenmengen beim Ausströmen mit den absorbirten und zwar letztere bei Anwendung verschiedener Wärmequellen zusammengestellt werden, wie in folgender Tabelle, wo die Bezeichnungen L, P, K, W ihre vorige Bedeutung behalten.

| Substanzen | Ausstrahlung | Absorption L | P | K | W |
|---|---|---|---|---|---|
| Kienrufs . . . . . . . | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Bleiweifs . . . . . . . | 100 | 53 | 56 | 89 | 100 |
| Hausenblase . . . . . . | 91 | 52 | 54 | 64 | 91 |
| Tusch . . . . . . . . . | 85 | 96 | 95 | 87 | 85 |
| Gummilack . . . . . . | 72 | 43 | 47 | 70 | 72 |
| blanke Metallfläche . . . | 12 | 14 | 13 | 13 | 13 |

Es darf hierbei nicht übersehn werden, dafs die Ausstrahlungsversuche mit einem metallenen Würfel, worin Wasser durch eine untergesetzte Weingeistlampe stets siedend blieb, angestellt wurden, die emittirten Strahlen also der dunklen Wärme angehörten; die absorbirten dagegen entsprangen aus unter sich verschiedenen Wärmequellen. Aus den Resultaten ergiebt sich dann, dafs das Absorptionsvermögen der Oberflächen für Strah-

1 Hierin dürfte zum Theil der Grund des oben (§. 310) erwähnten Versuches von Gahn liegen, wenn man berücksichtigt, dafs die durchfallenden Strahlen von der weifsen Hand aufgefangen wurden.

len, die aus ungleichen Wärmequellen kommen, merklich verschieden ist, dem Emissionsvermögen eben dieser Flächen aber um so näher kommt, je weniger intensiv die Wärme ist, für die dunkle des siedenden Wassers endlich ihm völlig gleich kommt. Auf Metallflächen scheint die verschiedene Art der Wärmestrahlen keinen Einflufs zu haben; auch ist bei ihnen das Emissionsvermögen dem Absorptionsvermögen für alle Arten von Wärmestrahlen gleich. Dieses stimmt damit überein, dafs Metallspiegel alle Arten Wärmestrahlen auf gleiche Weise reflectiren.

324) Aus der Eigenschaft des Steinsalzes wurde oben gefolgert, dafs sich dasselbe vorzugsweise zu Sammlungslinsen für Wärmestrahlen eigne; aus dem so eben Gesagten folgt aber, dafs metallene Hohlspiegel eine gleiche Wirkung haben. Um aber zu einer Entscheidung der Frage zu gelangen, welchen von beiden der Vorzug gebühre, müssen die reflectirenden Kräfte beider untersucht werden. Nimmt man die Aufgabe allgemein, so folgt aus den bekannten Versuchen von Rumford und Andern, dafs die Gröfse der *Reflexion* für Wärmestrahlen durch die Beschaffenheit der Oberflächen bedingt werde, die Untersuchungen Melloni's geben aber die Mittel, sie in einzelnen Fällen zu bestimmen[1]. Fallen die Wärmestrahlen auf eine diathermane Platte mit parallelen Oberflächen, so erleiden sie an der Vorderfläche eine gewisse Reflexion, dringen in das Innere, werden daselbst zum Theil absorbirt, gelangen zur Hinterfläche, erleiden daselbst eine theilweise Reflexion, und treten dann, hierdurch verringert, in die Luft. In Steinsalz ist aber ein Körper gegeben, welcher gar keine Wärme absorbirt, denn der Verlust der durchgehenden Wärmestrahlen ist für jede Dicke der Platten gleich und rührt somit blofs von der Reflexion an den Flächen her. Da aber eine Steinsalzplatte unter allen Bedingungen und für alle Arten von Wärmequellen gleichen Verlust erzeugt, indem von 100 Strahlen nur 92,3 durchgelassen werden, so ist 1 — 0,923, also 0,077 diejenige Menge, welche von der vorderen und hinteren Fläche reflectirt wird. Zur Auffindung der Reflexionsgröfse in einem gegebenen Falle führt dann folgende Betrachtung. Es sey die Menge der auffallenden Strahlen der Einheit gleich, die Menge der von der

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 212.

Vorderfläche reflectirten Strahlen = R, so ist die Menge der eindringenden Strahlen 1 — R und die von der Hinterfläche reflectirte = R (1 — R), weil eine Quantität Strahlen = 1 — R bei mangelnder Absorption zur Hinterfläche gelangt. Beide summirt und zu der durchstrahlenden Menge addirt müssen der Einheit gleich seyn, welches giebt

$$R + R(1 - R) + 0{,}923 = 1,$$

woraus

$$R = 1 \pm \sqrt{0{,}923} = 1 \pm 0{,}9607.$$

Der an der Vorderfläche reflectirte Antheil ist also = 1 — 0,9607 = 0,0393 und der von der Hinterfläche = 0,0377. Will man hiernach die Reflexion irgend einer andern Platte finden, so darf man nur erwägen, dafs dicke Platten anderer Substanzen ebensoviel Wärmestrahlen durchlassen, als wenig dickere Platten. Eine Glasplatte z. B. von 8 Millim. Dicke läfst unmerklich weniger Strahlen durchfallen, als eine andere von 8,5 Millim. Dicke, und eine 0,5 Millim. dicke Schicht bewirkt daher keine bemerkbare Absorption der Strahlen, die bereits eine 8 Millim. dicke Platte durchdrungen haben. Nimmt man also diese dünne Platte für sich allein und setzt sie den durch die 8 Millim. dicke Platte gedrungenen Strahlen aus, so wird ein Theil reflectirt und der ganze Rest durchgelassen, wobei der verlorene Antheil ausschliefslich der Effect der beiden Reflexionen ist. Sorgfältige Versuche ergeben sehr nahe 0,923 für die durchgelassene Wärmemenge und es gehn also 0,077 durch Reflexion verloren, und dieses gilt nicht blofs für Glas, sondern auch für andere Substanzen, wenn die dünnen Platten klar und gut polirt sind. Eben dieses Resultat wird erhalten, wenn man die Strahlen erst durch eine dickere Platte irgend einer diathermanen Substanz und dann durch eine dünne Platte eines andern gleichfalls diathermanen Körpers dringen läfst. Hiernach darf also angenommen werden, dafs von den senkrecht auf die Oberfläche diathermaner Körper fallenden Strahlen ungefähr 0,04 durch Reflexion verloren werden.

325) Um die *Reflexion von den Oberflächen athermaner Körper* zu finden, beobachtet man zuerst den Durchgang der Wärmestrahlen irgend einer Wärmequelle durch eine Steinsalzplatte beim senkrechten Einfall derselben auf die Fläche der

Platte und neigt sie dann gegen die Axe des Strahlenbündels. So lange der Winkel, welchen diese Axe mit dem Einfallslothe der Platte bildet, nicht gröfser als 30° bis 35° ist, zeigt die durchgelassene Menge keine merkliche Abnahme. Man lasse also die Wärmestrahlen einer constanten Wärmequelle gegen eine sehr dicke Glasplatte so fallen, dafs sie einen Winkel von 55° bis 60° mit der Fläche derselben bilden, fange die reflectirten Strahlen mit dem Thermomultiplicator auf und nenne die gemessene Wärme a, setze dann, ohne etwas an der Vorrichtung zu ändern, an die Stelle der Glasplatte die zu untersuchende Platte des athermanen Körpers und messe die erzeugte Wärmemenge b, so hat man, da die Reflexion der Glasplatte $= 0{,}0393$ ist, die Reflexion der athermanen Platte $x = 0{,}0393 \times \frac{b}{a}$. Bei Bergkrystall und polirtem Messing war $b = 35{,}63$; $a = 3{,}15$; $x = 0{,}44$. Es verhalten sich also die durch eine Steinsalzlinse und einen Messingspiegel, beide von gleichem Durchmesser, concentrirten Strahlen wie 0,923 : 0,44, wenn beider Brennpuncte gleiche Entfernung haben, und ein konischer messingner Schirm vor einer thermoelektrischen Säule wird also nur ungefähr $\frac{5}{9}$ so viele Wärmestrahlen concentriren, als eine Steinsalzlinse von gleichem Durchmesser. Verkleinert man den Winkel, welchen die Axe der auffallenden Wärmestrahlen mit der Fläche bildet, so ist die Wärmezunahme durch Reflexion beim Glase und beim Bergkrystall bedeutend, bei Messing aber betrug sie kaum 0,04 bis 0,05, als dieser Winkel von 80° auf 20° verringert wurde.

326) Endlich hat Melloni noch den bereits erörterten, von Baden Powell[1] zuerst wahrgenommenen Einflufs einer zwischenkommenden Glasplatte auf das Absorptionsvermögen auch für verschiedene Oberflächen untersucht. Bei Anwendung der Lampe schob er zwischen eine mit verschiedenen Substanzen überzogene, vor der Säule befindliche Kupferplatte und die Wärmequelle eine Glasscheibe und erhielt dann folgende Absorptionen, wobei wir zur leichteren Vergleichung die in der dritten Columne der vorigen Tabelle genannten Werthe hier wiederholen.

---

1 Vergl. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XL. p. 296. N. XLII. 475. N. XLIV. p. 23. N. XLV. p. 109

| Oberflächen. | Ohne Glas | Mit Glas |
|---|---|---|
| Kienrufs . . . . . . . | 100 | 100 |
| Bleiweifs . . . . . . . | 53 | 24 |
| Hausenblase . . . . . | 52 | 45 |
| Tusch . . . . . . . . | 96 | 100 |
| Gummilack . . . , . . | 43 | 30 |
| Metallfläche . . . . . | 14 | 17 |

Hiernach werden die Mengen der absorbirten Strahlen durch das Zwischenbringen einer Glasscheibe bei der Metallfläche und bei einem Ueberzuge von Tusch vermehrt, bei Kienrufs bleibt sie unverändert, bei allen übrigen aber wird sie vermindert.

327) Nachträglich sucht Melloni[1] noch die Aehnlichkeit zwischen den verschiedenen Wärmestrahlen und den ungleich gefärbten Lichtstrahlen durch einige sinnreiche Versuche weiter zu begründen. Gäbe es nur einerlei Art Wärmestrahlen, so könnte kein Unterschied zwischen Diathermanie und Diathermansie statt finden, oder vielmehr die letztere Eigenschaft könnte gar nicht als eine besondere existiren, alle Körper müfsten mehr oder minder diatherman, d. h. für jede Art von Wärmestrahlen auf gleiche Weise mehr oder minder durchgängig seyn. Da dieses nicht der Fall ist, manche Körper vielmehr für gewisse Strahlen, namentlich die aus dunklen Wärmequellen entspringenden, diathermaner sind, als für andere, so mufs diese Eigenschaft mit einem eigenthümlichen Worte bezeichnet werden, wofür Melloni den Ausdruck *Diathermansie* gewählt hat. Die ungleiche Diathermansie diathermaner Körper mufs dann nothwendig in der ungleichen Beschaffenheit ihrer Molecüle oder der Aggregation derselben gegründet seyn, allein sie wäre dennoch ohne eine gleichfalls statt findende ungleiche Beschaffenheit der Wärmestrahlen unmöglich, weil nur gewisse Strahlen durch die mit eigenthümlicher Diathermansie begabten Körper leichter hindurchgehn. Hierbei drängt sich unwillkürlich die Aehnlichkeit mit der verschiedenen Färbung diaphaner Körper von selbst auf, indem durch diese allerdings Lichtstrahlen, aber nur eigenthümlich gefärbte hindurchgehn, andere aber nicht,

1 Comt. rend. T. IX. p. 315. Poggendorff's Ann. XLVIII. 326. Ausführlich in Ann. de Chim. et Phys. T. LXXII. p. 40.

nach welcher Analogie dann der Ausdruck *farbige Wärmestrahlen* gewählt worden ist.

Dieses vorausgesetzt folgt aus den mitgetheilten Erfahrungen, daſs die Ursache der Diathermansie bis jetzt noch ganz unbekannt, die Eigenschaft selbst aber von den Körpern, denen sie zugehört, unzertrennbar ist, und daſs es zweitens nur eine einzige, von aller Diathermansie befreite Substanz giebt, nämlich das Steinsalz. Alle Farbstoffe vermindern die Diathermanie des Glases, ändern aber die Diathermansie nicht, auſser die schwarzen[1] und gewisse grüne Farbstoffe. Da diese letzteren aber dem Glase beigemischt sind, welches die wenig brechbaren Strahlen der Wärmequellen von niederer Temperatur auffängt, so müſste man sie mit Steinsalz verbinden, um zu wissen, ob sie die Ursache der Veränderung sind, die das mit ihnen verbundene Glas zeigt. Eine solche Verbindung ist aber noch nicht bewerkstelligt worden und vielleicht unmöglich. Melloni erreicht indeſs etwas Aehnliches, indem er eine Platte Steinsalz mit einer dünnen Lage Kienruſs überzieht[2], die so zubereitet einen Körper giebt, welcher Strahlen aus Quellen von niederer Temperatur in gröſserem Verhältnisse durchläſst, als Strahlen aus Quellen von höherer Temperatur, und also in Beziehung auf den Wärmedurchgang auf der nämlichen Linie steht, als diejenigen Medien, welche bloſs rothe und orangefarbene Strahlen durchlassen, in Beziehung auf Licht. Um diese Erscheinung augenfälliger zu machen, nimmt er eine Steinsalzplatte von etwa zwei bis drei Zoll Länge, theilt sie durch Querlinien in drei gleiche Theile, läſst den einen unverändert, heftet auf den andern eine Schicht eines diathermanen Körpers, z. B. ein Blättchen schwarzen oder weiſsen Glimmers, eine Lage Hausenblase, Terpentin oder eine Glasplatte, und schwärzt den dritten

1 Poggendorff bemerkt, daſs nach Splittgerber die das Glas schwarz färbende Substanz aus Schwefelalkalien besteht, welche aus den die angewandte Pottasche oder Soda verunreinigenden Substanzen durch zugesetzte Kohle reducirt sind und zuerst gelb, durch angewandte höhere Hitze aber schwarz färben. S. Annalen XLVII. 166.

2 Melloni erzeugt diesen Ueberzug vermittelst einer Kerzenflamme; viel leichter aber erhält man ihn durch einen angezündeten Spahn von Kienholz oder etwas Terpentinöl auf Baumwolle, die um eine Glasröhre fest gewickelt und mit Terpentinöl getränkt ist.

über einer Lampe. Nachdem alsdann die Stellungen ausgemittelt sind, in welchen die verschiedenen Wärmequellen eine gleiche Ablenkung der Nadel bewirken, läfst er die drei Abtheilungen vor der thermoelektrischen Säule vorübergehn. Die erste läfst dann stets die nämliche Menge Wärmestralen durchfallen, die zweite läfst eine mit der Temperatur der Wärmequelle wachsende Menge Strahlen durch, die dritte aber umgekehrt eine bei höherer Temperatur abnehmende Menge. Dieses Verhalten gleicht also auffallend dem, wonach durch eine Reihe gleich dicker weifser und gefärbter Gläser verschiedenfarbiges Licht in ungleichen Mengen dringt. Sind Steinsalzplatten so geschwärzt, dafs sie sich völlig opak zeigen, so können sie, leuchtenden Wärmequellen ausgesetzt, nur dunkle Strahlen durchlassen. Glas und Glimmer, beide schwarz und opak, können, leuchtenden Wärmequellen ausgesetzt, gleichfalls nur dunkle Strahlen durchlassen. Dennoch aber läfst eine gewöhnliche Glasplatte ungefähr die Hälfte der durch Glimmer oder schwarzes Glas gedrungenen Strahlen durch, von denen aber, die durch geschwärztes Steinsalz gegangen sind, kaum einige Hundertstel, und es giebt sonach nicht blofs verschiedene Arten mit Licht verbundener, sondern auch dunkler Wärmestrahlen. Man könnte hieraus folgern, die Schwärzung thermoskopischer Apparate verändere die Empfindlichkeit derselben, allein Melloni behauptet, durch Erfahrung gefunden zu haben, dafs eine Kienrufsschicht stets eine gleiche Menge Wärme durchlasse, von welcher Beschaffenheit auch die Wärmequellen bei gleicher Intensität übrigens seyn mögen.

328) Wie schon bemerkt, war Forbes der Erste, welcher eine wirkliche *Polarisation* der Wärmestrahlen nachwies, nachdem Berard früher ein mit den Lichtstralen zusammenfallendes polarisches Verhalten derselben wahrgenommen, Melloni aber eine Polarisation durch Turmalinplatten für nicht statt findend erklärt hatte. Forbes[1] machte die erste Reihe seiner Versuche im Anfange des Jahres 1835, die zweite ein

1 On the Refraction and Polarisation of Heat. Edinburgh 1835. gr. 4. Researches on Heat. Edinb. 1836. gr. 4. Edinb. Phil. Trans. T. XIII. Abgekürzt in Poggendorff's Ann. XXXV. 353. London and Edinb. Phil. Mag. N. XXXII. p. 134. N. XXXIII. p. 205. N. XXXIV. p. 284. N. XXXV. p. 366. N. LXXVIII. p. 545.

Jahr später bekannt; von beiden Abhandlungen verdient der wesentliche Inhalt hier mitgetheilt zu werden. Die von ihm angewandte thermoelektrische Säule war so fein, dafs die 30 zusammengelötheten Endenpaare nur 0,4 Quadratzoll Fläche einnahmen die Erwärmung wurde nie weiter gebracht, als dafs die Nadel 15°, höchstens 20° Abweichung zeigte, und die Grade wurden daher den Kräften proportional genommen. Um zugleich kleine Gröfsen mit Vermeidung der Parallaxe genau zu messen, wurde vermittelst eines kleinen Fernrohrs abgelesen, vor welchem eine Linse angebracht war, in deren Focus sich der bezügliche Theil der Scale befand, so dafs es möglich wurde, 0,1 eines Grades des von der Nadel durchlaufenen Bogens noch zu unterscheiden. Forbes wiederholte die meisten durch Melloni angegebenen Versuche und fand deren Bestätigung. Am auffallendsten war ihm das Verhalten des Steinsalzes, und es gelang ihm ohne Schwierigkeit, mit einem hieraus verfertigten Prisma das Maximum der Wärme im Sonnenspectrum aufzufinden. Auf gleiche Weise überzeugte er sich, dafs durch ein Prisma dieser Art auch die Strahlen aus dunklen Wärmequellen, selbst solchen, welche die Siedehitze des Wassers nicht erreichen, gebrochen werden; inzwischen ist dann ihre Dispersion so gering, dafs es höchst schwierig seyn würde, das Maximum und die Abnahme der Wärme in einem *Wärmespectrum*[1] wahrzunehmen, was auch Melloni nicht zu erreichen vermochte. Dabei drängte sich die Frage auf, ob die der Brechung unterliegenden Wärmestrahlen auch eine doppelte Brechung erleiden; aber leider fehlt dem Steinsalze diese Kraft, und Doppelspath läfst zu wenig Wärme durch, als dafs es leicht wäre, vermittelst desselben zu einem genügenden Resultat zu gelangen.

329) Nachdem Forbes bei seinen ersten Versuchsreihen unzweideutige Beweise einer wirklich statt findenden Polarisation der Wärmestrahlen erhalten und sich in der Behandlung der ausnehmend delicaten Apparate mehr geübt hatte, nahm er die untersuchten Probleme abermals vor, um wo möglich noch schärfere Resultate zu erlangen. Eine Verbesserung seines Apparates bestand darin, dafs er das Fernrohr, welches zum

1 Dieser Ausdruck für die gebrochenen dunkeln Wärmestrahlen dürfte wohl ohne Widerrede Eingang finden.

Ablesen der von der Magnetnadel durchlaufenen Grade diente und mit der angegebenen Linse versehn war, an einem Stativ beestigte, um die Lage desselben unverrückt zu erhalten. Aufserdem versah er die Oeffnung der thermoelektrischen Säule mi einem konischen Reflector von 1,75 Z. Länge und 1,75 Z. Weite seiner vordern Oeffnung, um die mehr zerstreuten Strahen auf die vereinten Löthstellen zu lenken. Vermittelst der voi Melloni angegebenen Methode gelang es ihm, durch allerdigs oft wiederholte delicate Versuche eine genaue Reduction derabgelesenen Grade des Thermomultiplicators auf wahre, untersich gleiche Grade zu reduciren, wie sie in folgender Tabelle ethalten sind:

| beob-achtet | redu-cirt | beob-achtet | redu-cirt |
|---|---|---|---|
| 2 | 2,1 | 12 | 13,0 |
| 4 | 4,2 | 14 | 15,5 |
| 6 | 6,3 | 16 | 17,8 |
| 8 | 8,6 | 18 | 20,0 |
| 10 | 10,8 | 20 | 22,4 |

Nicht minder wählte er das gleichfalls von Melloni angegebene Mittel, nicht sowohl diejenigen Grade abzulesen, auf denen die Nadel stationär blieb, als vielmehr diejenigen, auf welche sie durch den ersten Impuls getrieben wurde. Gründe hierfür sind, weil zuerst Zeit gespart wird, zweitens weil die längere Einwirkung der Wärme den Nullpunct der Säule verrückt und überhaupt ihren richtigen Gang leicht abändert, und weil endlich drittens der Einflufs der durchgelassenen Wärme oder der *secundären Wärmestrahlung*, wie man dieses nennt, dadurch vermieden wird. Feine Versuche zeigten das Verhältnifs der durch beide Arten des Messens gefundenen Gröfsen.

| Grade | | Inten-sitäten | Grade | | Inten-sitäten |
|---|---|---|---|---|---|
| erste | stationäre | | erste | stationäre | |
| 1 | 1,2 | 1,20 | 12 | 13,20 | 14,40 |
| 2 | 2,3 | 2,35 | 14 | 15,30 | 16,90 |
| 4 | 4,5 | 4,65 | 16 | 17,40 | 19,35 |
| 6 | 6,7 | 7,10 | 18 | 19,45 | 21,75 |
| 8 | 8,9 | 9,60 | 20 | 21,50 | 24,30 |
| 10 | 11,1 | 12,05 | | | |

330) Wenn zwei dünne Turmalinplatten, welche parallel mit ihrer Krystallisationsaxe geschnitten sind, so auf einander gelegt werden, daſs ihre Axen parallel laufen, so lassen sie eine beträchtliche Menge Licht durch, verschlucken aber fast alles, wenn ihre Axen sich durchkreuzen. Ob diese Polarisation der Lichtstrahlen auch die Wärmestrahlen treffe, suchte schon Melloni zu ermitteln, erhielt aber kein günstiges Resultat, sofern er keinen Unterschied in der Menge der auf die eine oder die andere Weise durchgelassenen Wärmestrahlen warnehmen konnte, und ebendieses war auch der Fall bei den ersten durch Forbes angestellten Versuchen; in der Folge aber, als die so leicht möglichen Beobachtungsfehler noch mehr vermieden wurden, gelang es Letzterem, allerdings einen Unterschied aufzufinden. In 7 Versuchen fielen von 100 Wärmestrahlen, welche die Turmalinplatten bei parallelen Axen von einer gemeinen Lampe ohne Schirm durchlieſsen, bei durchkreuzenden Axen nur 86; 83; 86; 83; 91; 82; 94, also im Mittel 86,4 von 100 durch. Ermuthigt durch diesen günstigen Erfolg ging er auch zur Anwendung anderer, namentlich dunkler Wärmequellen über, allein es gelang ihm nicht, die Turmalinplatten anders als auf dünnes Glas geklebt anzuwenden, wodurch jedoch die meisten Wärmestrahlen am Durchgange gehindert werden, und da man auſserdem den Einfluſs des einfachen Wärmedurchganges oder der Durchleitung (der secundären Strahlung), im Gegensatze der Durchstrahlung, so schwer zu vermeiden im Stande ist, so war es ihm dadurch unmöglich, bei der Anwendung dunkler, nur die Siedehitze des Wassers erreichender Wärme zu einem genügenden Resultate zu gelangen. Es glückte ihm jedoch, mit zwei Platten A und B und zwei andern E und F folgende durch *Polarisation* bewirkte Wärmeverluste bei der Anwendung der durch Melloni gleichfalls gebrauchten Wärmequellen zu beobachten.

| Wärmequellen. | Verlust durch Polarisation A und B | Verlust durch Polarisation E und F |
|---|---|---|
| Argand'sche Lampe . . . | — | 0,16 |
| gemeine Lampe ohne Schirm | 0,14 | 0,11 |
| glühendes Platin . . . . | 0,15 | 0,12 |
| heiſses Kupfer 400° C. . . | — | 0,03 |

331) Die von Melloni aufgefundene eigenthümliche *Diathermansie* des grünen und schwarzen Glases läſst sich in Beziehung auf das Grün (bei Schwarz ist es an sich unmöglich) nicht auf die Farbe der Lichtquelle übertragen, denn Forbes färbte die Flamme des Alkohols roth durch salpetersauren Strontian, gelb durch Kochsalz, grün durch Boraxsäure, blau mittelst Anwendung von absolutem Alkohol, und erhielt folgende durch verschiedene Schirme von 100 durchgelassene Wärmestrahlen:

| Farbe der Flamme | Durchgelassene Strahlen Alaun | Glas | Steinsalz |
|---|---|---|---|
| roth . . . . . . . . | 11,0 | 26 | 85 |
| gelb . . . . . . . . | 11,5 | 28 | 87 |
| grün . . . . . . . . | 11,0 | 26 | 84 |
| blau . . . . . . . . | 10,0 | 30 | 83 |

Die Unterschiede sind so gering, daſs sie innerhalb der Fehlergrenze liegen und man daher der Farbe der Flamme den Einfluſs nicht beilegen kann, den die Färbung der Medien bewirkt, wie auch wohl zu erwarten war.

332) Auch die schwierige Aufgabe, die *Polarisation durchgehender Wärmestrahlen* auszumitteln, wuſste Forbes durch eine Reihe sinnreich eingerichteter Versuche zu lösen. Hierzu wählte er Glimmerblättchen, und da die Polarisation an den Oberflächen statt findet, dickere Massen aber viele Wärme verschlucken, es daher daran liegen muſste, sehr dünne Blättchen zu erhalten, so spaltete er dieselben anfangs mit einem Messer, nachher aber fand er, daſs Glimmerplatten, schnell in ein lebhaftes Feuer gehalten, durch die Ausdehnung der zwischen den Lamellen eingeschlossenen Luft in sehr dünne Blättchen zerspalten, deren man sich zu diesen Versuchen bedienen kann. Zur gröſseren Bequemlichkeit befestigt man sie in dem geeigneten Winkel von ungefähr 34° auf einem Bretchen, noch besser in einem hohlen hölzernen Cylinder, und da man zwei Blättchen haben muſs, so kann man die Cylinder, worin sie auf die geeignete Weise befestigt sind, so einrichten, daſs der eine in den andern gesteckt und beliebig durch alle Grade des Kreises um seine Axe gedreht wird. Vorläufige Versuche er-

gaben dann, daſs mehr Wärmestrahlen durchfielen, wenn die Flächen beider Blätter einander parallel waren, als wenn sie sich durchkreuzten, die nachher erhaltenen numerischen Werthe aber und die Art der Versuche zeigt folgende Uebersicht.

Argand'sche Lampe mit Schornstein und Reflector.

| | Ablenkung. | Mittel. | Verhältniſs. |
|---|---|---|---|
| Parallel . . . | 15°,60 | | |
| Kreuzend . . | 4,20 | — 15°,67 . . . | 27:100 |
| Parallel . . . | 15,75 | | |
| Kreuzend . . | 4,40 | | |
| Parallel . . . | 15,95 | — 15,85 . . . | 28:100 |

Argand'sche Lampe ohne Reflector.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Parallel . . . | 10°,40 | | |
| Kreuzend . . | 3,00 | — 10°,42 . . . | 29:100 |
| Parallel . . . | 10,45 | | |
| Kreuzend . . | 2,95 | | |
| Parallel . . . . | 10,65 | — 10,55 . . . | 28:100 |

Glühendes Platinlöckchen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Parallel . . . | 11°,90 | | |
| Kreuzend . . | 3,45 | — 12°,42 . . . | 28:100 |
| Parallel . . . | 12,95 | | |
| Kreuzend . . . | 3,70 | | |
| Parallel . . . . | 12,80 | — 12,87 . . . | 29:100 |

Dunkle Hitze vom Kupfer.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Parallel . . . | 10°,55 | | |
| Kreuzend . . | 4,05 | — 10,57 . . . | 38:100 |
| Parallel . . . | 10,60 | | |
| Kreuzend . . . | 3,90 | | |
| Parallel . . . . | 10,50 | — 10,55 . . . | 37:100 |

Im Mittel aus einer groſsen Zahl sorgfältiger Versuche ergab sich dann, daſs von den aus verschiedenen Quellen strömenden Wärmestrahlen folgende Mengen polarisirt werden.

Durch zwei Platten, I und K genannt.

| Wärmequelle | Von 100 polarisirten Strahlen |
| --- | --- |
| Argand'sche Lampe . . . . . . . . . . . . . . . | 72 bis 74 |
| glühendes Platin . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 72 |
| heifses Kupfer 400° C. . . . . . . . . . . . . | 63 |
| desgleichen nach dem Durchgange durch Glas | 72 |
| Quecksilber in einem Gefäfse 210° C. heifs . . | 48 |
| Gefäfs mit siedendem Wasser . . . . . . . . . | 44 |

Durch zwei Platten, G und H genannt.

| | |
| --- | --- |
| Argand'sche Lampe . . . . . . . . . . . . . . . | 82 |
| glühendes Platin . . . . . . . . . . . . . . . . | 70 |
| heifses Kupfer 400° C. . . . . . . . . . . . . . | 68 |
| desgleichen nach dem Durchgange durch Glas | 73 |
| Gefäfse mit siedendem Wasser . . . . . . . . | 49 |

Hieraus geht hervor, dafs die am stärksten wirkenden Platten G und H nicht weniger als 0,82 der aus gewissen Wärmequellen auffallenden Wärmestrahlen zu polarisiren vermögen; dafs aber die Strahlen ungleicher Wärmequellen auch in ungleicher Menge polarisirt werden, ergab sich aus vielen mannichfach abgeänderten Versuchen, die der Constatirung dieses streitigen Punctes gewidmet wurden. Uebrigens stimmt dieses mit dem Verhalten des Lichtes überein, denn so wie Strahlen aus niedrigeren Wärmequellen weniger brechbar und weniger polarisirbar sind, wird auch das weniger brechbare Licht nach Brewster weniger durch Platten, auf die es in dem gegebenen Winkel fällt, polarisirt. Dabei eignet sich Glimmer vorzugsweise zu Polarisationsversuchen, theils wegen seiner ausgezeichneten Diathermansie, theils weil er sich in so ausnehmend dünnen Platten darstellen läfst. Forbes vermochte jedoch auch eine Polarisation durch dünne Steinsalzplatten mit parallelen Oberflächen zu erhalten. Zwei Bündel, jedes aus drei Platten bestehend, also mit sechs Flächen, polarisirten ungefähr ein Siebentel der Wärmestrahlen, welche in der parallelen Lage durchgingen, wenn der Einfallswinkel derselben ungefähr 55° betrug; waren aber alle 6 Platten in ein Bündel vereint und wurde dann zugleich eins der Glimmerblättchen mit angewandt, so wurde fast die Hälfte der Strahlen polarisirt.

333) Schon bei den zuerst bekannt gemachten Versuchsreihen bemühte sich Forbes, eine Polarisation der Wärmestrahlen durch *Reflexion* aufzufinden, was aufser andern Gründen auch deswegen sehr schwer ist, weil dabei die thermoelektrische Säule bewegt werden mufs; es gelang ihm jedoch, zu unzweideutigen Resultaten zu gelangen. Hierdurch ermuthigt setzte er später die Versuche fort und bestimmte zuerst das Reflexionsvermögen einiger Körper, wobei er für einen Einfallswinkel von 45° folgende Reihe, vom stärksten anfangend, erhielt: polirtes Spiegelmetall; mit der Hand gespaltene dünne Glimmerblättchen; durch Hitze gespaltene Glimmerblättchen; dicke Glimmerblätter; dünn überfirnifstes Steinsalz; polirtes Steinsalz; Glas; Alaun. Letztere drei Substanzen, an Diathermansie so verschieden, hatten ein fast gleiches Reflexionsvermögen für Strahlen von erhitztem Kupfer; auch zeigten sie sich bei den von glühendem Platin ausgehenden Wärmestrahlen wenig verschieden, aufser dafs Glas unverkennbar über Alaun und selbst über Steinsalz zu stehen kam. Im Allgemeinen ist die Reflexion von metallischen Oberflächen ungefähr zwei- bis dreimal stärker, als von Glimmerblättchen, die durch Hitze gespalten sind, Glas, Alaun und Steinsalz reflectiren aber nur etwa den dritten oder vierten Theil so viel, als solche Glimmerblättchen. Hiernach eignen sich die letzteren vorzugsweise zu Versuchen dieser Art, und es ist leicht zu ermessen, warum die Versuche von Powell[1] und selbst die von Nobili[2] mit dem Thermomultiplicator misslangen, weil Glas beinahe der schlechteste Reflector ist, aufserdem aber wenige Strahlen durchläfst, viele dagegen absorbirt, wodurch der Einflufs der durch Ausstrahlung mitgetheilten Wärme gesteigert wird.

334) Die wesentlichen Theile des Apparates[3], mit Weglassung mancher Hülfstheile, namentlich solcher, welche dazu dienten, jeden anderweitigen Einflufs der Wärmequelle auf den Fig. Thermomultiplicator zu entfernen, sind in der Zeichnung dar- 61. gestellt, wobei nur zu bemerken ist, dafs sich die reflectirenden Glimmerblättchen AB und CD auf massiven hölzernen Unterlagen in hohlen hölzernen Kästchen befinden. Die Fläche AB

1 Edinburgh Journ. of Sc. N. S. N. VI. p. 297. N. X. p. 206.
2 Bibliothèque universelle. 1834. Sept.
3 Vergl. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 349.

macht mit dem Horizonte einen Winkel von 56°, so dafs die in einem Winkel von 34° auffallenden Strahlen in verticaler Richtung reflectirt werden. Die Axe des Thermomultiplicators wird dann in die Richtung der Linie FP gebracht, damit die Strahlen gerade auffallen, das untere Bret TU ist aber um den Punct T′ in horizontaler Ebene drehbar, um die reflectirenden Ebenen einander parallel oder in jedem Winkel gegen einander geneigt zu stellen. Es ergab sich dann, dafs dunkle Wärmestrahlen vollständiger polarisirt werden, als die von einer Argand'schen Lampe, während die von einem glühenden Platindrahte ausgehenden beide übertreffen. Bei einem der Versuche bestanden die reflectirenden Platten aus 10 oder 12 mit dem Messer gespaltenen Glimmerblättchen und die Reflexionsebene war lothrecht auf den Hauptschnitt des Glimmers. Es wurden dann von 100 Strahlen polarisirt:

| | |
|---|---|
| Argand'sche Lampe ohne Reflector | 55, |
| Kupfer bis 400° C. erhitzt . . . . | 61, |
| glühender Platindraht . . . . . . . | 65. |

Forbes findet es wahrscheinlich, dafs der Einfallswinkel zu klein für die brechbareren Strahlen der Argand'schen Lampe und zu grofs für die minder brechbaren des erhitzten Kupfers, dagegen am geeignetsten für das heifse Kupfer war, woraus die Ungleichheit der Wirkung erklärbar seyn würde.

335) Aus den bisher erörterten Erscheinungen geht die Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Lichts und der Wärme unverkennbar hervor, und es mufste sich daher die Frage aufdringen, ob die Wärmestrahlen ebenso, wie die Lichtstrahlen, einer doppelten Brechung unterliegen, mithin eine sogenannte *Depolarisation* der ersteren wie der letzteren statt findet. Um die vorliegende Aufgabe näher zu bestimmen, ist Folgendes zu bemerken. Wird das Licht durch Reflexion oder Refraction polarisirt, und sind dann beide Platten, die polarisirende und analysirende, der gewöhnlichen Polarisationsmaschinen in einem rechten Winkel gegen einander gerichtet, so wird das Licht gänzlich verschluckt; man sieht ein ganz dunkles oder mindestens sehr dunkles Feld. Wird in dieser Lage ein Glimmerblättchen zwischen die beiden Platten lothrecht auf den polarisirten Strahl gebracht, so verschwindet das Licht nicht mehr, aufser in den beiden Lagen, wenn der Hauptschnitt des

Glimmerblättchens parallel zur Polarisationsebene oder lothrecht auf dieselbe ist; in allen andern Lagen gelangt Licht zum Auge. Dieses gilt für alle Dicken des Glimmerblättchens, so lange Licht von verschiedener Brechbarkeit verbunden ist; vollkommen homogenes Licht würde bei gewissen Dicken in jeder Lage zum Auge gelangen, d. h. es würde nicht depolarisirt werden. Um zu versuchen, ob ein gleiches Verhalten bei den Wärmestrahlen statt findet, müſste man ein Glimmerblättchen zwischen die polarisirende und analysirende Platte bringen, deren Einfallsebenen einen rechten Winkel mit einander bilden, und untersuchen, ob ein Unterschied des Erwärmens statt findet, wenn der Hauptschnitt des Glimmerblättchens parallel zur Polarisationsebene ist oder einen Winkel von 45° damit bildet. Bei der Anwendung zweier Glimmerbündel, E und F genannt, von der bereits beschriebenen Art, deren Ebenen rechtwinklig auf einander gerichtet waren, gaben die Strahlen des heiſsen Kupfers, wenn der Hauptschnitt des zwischengebrachten Glimmerblättchens mit der Polarisationsebene zusammenfiel oder einen Winkel von 45° damit bildete (wobei im ersten Falle die Depolarisation ein Minimum, im zweiten ein Maximum war), folgende Verhältnisse:

100:120; 100:110; 100:122; 100:125.

Die bereits genannten Polarisationsplatten C und D gaben:

100:118; 100:120; 100:120; 100:113.

Glühendes Platin giebt, wie bemerkt, vorzugsweise polarisirbare Strahlen, die dann auf gleiche Weise stark depolarisirt werden. Hiermit zeigten sich unter den angegebenen Bedingungen folgende Verhältnisse:

100:126; 100:138; 100:138.

Inzwischen ergab sich aus unzweideutigen Erscheinungen, insbesondere aus der momentan erfolgenden Bewegung der Galvanometernadel bei der Beobachtung derselben durch das nach einer verbesserten Art montirte Fernrohr, wenn das in den polarisirten Strahl gebrachte Glimmerblättchen um 45° gedreht wurde, daſs selbst Wärmestrahlen von geringer Temperatur depolarisirt wurden, ohne daſs die gleichzeitig vorhandene Lichtmenge irgend einen Einfluſs äuſserte. Eine Argand'sche Lampe mit Glasschornstein wurde durch rothglühendes, also nicht eigentlich leuchtendes, Platin übertroffen, die polarisirten Strahlen

des heifsen Kupfers wurden depolarisirt und ebenso auch diejenigen, welche von einem eisernen Gefäfse mit Quecksilber bis 260° C. erhitzt ausströmten, wie nicht minder unverkennbar, wenn die Hitze des letzteren bis 105° C. herabging, worauf der Versuch mit siedendem Wasser angestellt wurde und gleichfalls gelang. Von 157 Versuchen, deren 92 mit unsichtbaren Wärmestrahlen angestellt wurden, gab nur einer kein Resultat und einer ein negatives. Andere depolarisirende Körper zu wählen war allerdings von grofsem Interesse, allein Selenit, welcher gleichfalls in dünne Blätter spaltbar ist, verschluckt so viele Wärme, dafs sich nur bei der Anwendung von glühendem Platin schwache Wirkungen zeigten; unzweideutig dagegen war die depolarisirende Eigenschaft bei Turmalinblättchen. Hieraus geht also hervor, dafs die Wärmestrahlen einer *doppelten Brechung* fähig sind und dafs die zwei Bündel in entgegengesetzten Ebenen polarisirt werden.

336) Durch das Gelingen dieser Versuche ermuthigt suchte Forbes auch das quantitative Verhältnifs der beiden, durch doppelte Brechung erhaltenen Wärmestrahlenbündel auszumitteln, was im Grunde leichter ist und schärfere Messung gestattet, als bei den Lichtstrahlen. In Beziehung auf das Licht finden bekanntlich folgende Gesetze statt. Wenn die beiden Platten des Polarisationsapparats, die polarisirende und die analysirende, beide in der Polarisationsebene liegend einander parallel sind, so gelangt alles polarisirte Licht zum Auge, sind sie aber um einen rechten Winkel gegen einander gerichtet (durchkreuzen sie sich), so verschwindet dasselbe. Bringt man alsdann in den polarisirten Strahl eine Krystallplatte, deren Axe einen Winkel von 45° mit der Polarisationsebene bildet, so geht im ersten Falle, wenn die beiden polarisirenden Platten einander parallel sind, ein Theil des Lichtes verloren, im zweiten aber, wenn beide Platten sich kreuzen, wird ein gleicher Theil gewonnen, beide Male durch Depolarisation. Beide Mengen des Lichtes sind einander gleich und die Strahlenbündel correspondiren dem ordinären und extraordinären Bilde in einem analysirenden Prisma von Doppelspath. Nennen wir daher beide Intensitäten $O^2$ und $E^2$, die ganze Menge des polarisirten Lichtes aber oder den Werth von $O^2$, wenn beide Platten einander parallel sind, $F^2$, in welchem Falle dann

$E^2 = 0$ ist, so muſs stets bei jeder Lage des depolarisirenden Krystalls

$$O^2 + E^2 = F^2;\quad E^2 = F^2 - O^2;\quad O^2 = F^2 - E^2$$

seyn, indem durch Depolarisation für den einen gewonnen wird, was für den andern verloren geht. Eine zahlreiche Versuchsreihe zeigte, daſs ebendieses bei den Wärmestrahlen statt findet, wie folgende Uebersicht der bedeutendsten und genauesten unter ihnen angiebt, worin $E^2$ die Zunahme des auſserordentlichen, $F^2 - O$ die Abnahme des ordentlichen Strahlenbündels, beides durch die depolarisirende Wirkung der in den polarisirten Strahl gebrachten Krystallplatte bezeichnen.

| Wärmequelle | Glimmerplatte | $E^2$ Zahl der Vergleichungen | $E^2$ Grade des Thermomult. | $F^2 - O^2$ Zahl der Vergleichungen | $F^2 - O^2$ Grade des Thermomult. |
|---|---|---|---|---|---|
| Quecks. unter 260° C. | Nr. 2 | 5 | 0°,28 | 6 | 0°,26 |
| Kupfer, ungefähr 400° C. | Nr. 1 | 4 | 0°,46 | 4 | 0°,32 |
| | Nr. 1 | 4 | 0,35 | 4 | 0,55 |
| | Nr. 1 | 4 | 0,51 | 4 | 0,52 |
| | Nr. 1 | 4 | 0,59 | 5 | 0,78 |
| | Nr. 2 | 4 | 0,44 | 5 | 0,40 |
| | Nr. 2 | 7 | 0,75 | 7 | 0,70 |
| Mittel | — | 27 | 0,517 | 29 | 0,545 |
| glühendes Platin | Nr. 1 | 3 | 2°,12 | 3 | 2°,14 |
| | Nr. 1 | 4 | 2,22 | 4 | 2,52 |
| | Nr. 1 | 4 | 2,01 | 5 | 2,13 |
| | Nr. 2 | 6 | 2,38 | 6 | 2,50 |
| Mittel | — | 17 | 2,18 | 18 | 2,32 |
| Argand'sche Lampe mit Schornstein | Nr. 1 | 4 | 0°,97 | 4 | 1°,00 |
| | Nr. 2 | 4 | 1,90 | 4 | 1,74 |
| Mittel | — | 8 | 1,43 | 8 | 1,37 |

Diese Resultate stimmen so genau überein, als man von Versuchen dieser Art erwarten darf, und zeigen, daſs zwischen den ordinären und extraordinären Bündeln doppelt gebrochener Wärmestrahlen ein gleiches Verhältniſs obwaltet, als bei den Lichtstrahlen unter gleichen Bedingungen.

Für die Lichtstrahlen giebt Fresnel folgende Formeln an:

$$O^2 = F^2 \left\{1 - \mathrm{Sin.}^2 2i\ \mathrm{Sin.}^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right\},$$

$$E^2 = F^2 \left\{\mathrm{Sin.}^2 2i\ \mathrm{Sin.}^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right\},$$

worin i den Winkel zwischen der Polarisationsebene und der Axe des in den Strahl gebrachten depolarisirenden Krystallblättchens, o — e den Unterschied der Verzögerungen des ordentlichen und aufserordentlichen Strahlenbündels im depolarisirenden Krystalle und λ die Länge einer Undulation bezeichnen.

337) Durch die Wichtigkeit der Resultate, wozu diese Betrachtungen führen, wurde Forbes bewogen, diese Aufgabe in einer dritten Abhandlung[1] noch weiter zu verfolgen. Kennt man nämlich die durch eine Platte von gegebener Dicke depolarisirte Menge von Licht oder bei statt findender unverkennbarer Analogie die Menge der Wärme und zugleich die Länge der Wärmewellen, so läfst sich daraus die Verzögerung oder die Stärke der Doppelbrechung finden, umgekehrt aber, wenn die letztere bekannt ist, vermag man die Länge der Wärmewellen zu erhalten. Letzteres Problem ist bei weitem das wichtigere, und es war daher der Mühe werth, dasselbe unter der Voraussetzung zu lösen, dafs die Verzögerung der Wärmestrahlen der für die Lichtstrahlen aufgefundenen gleich sey. Dabei ist jedoch wohl zu berücksichtigen, dafs die Depolarisation bei gleicher Wellenlänge gleich seyn kann bei verschiedener Dicke der Glimmerblättchen und verschiedener Verzögerung, und zweitens, dafs alle Wärmequellen heterogene Strahlen liefern, deren jeder seine eigene Wellenlänge haben kann, weswegen also keine vollkommene Uebereinstimmung der durch Beobachtung erhaltenen Resultate mit der Formel zu erwarten steht, in welcher die Gleichheit der Wellenlänge λ angenommen wird.

338) Dieses vorausgesetzt konnte die Gröfse o — e durch Aufsuchung derjenigen Farbe aus der Reihe der Newton'schen Farben-

1 Edinb. Philos. Trans. T. XIV., daraus in Poggendorff's Ann. XLV. 75. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXX. p. 97. N. LXXXI. p. 180.

ordnungen aufgefunden werden, welche die Blättchen zeigten, wenn sie in den polarisirten Lichtstrahl gebracht wurden, wobei dann die Verzögerung dem doppelten Abstande zweier Glasplatten von einander gleich ist, zwischen denen die zugehörige Newton'sche Farbe entsteht. Zeigte z. B. ein Blättchen im polarisirten Lichtstrahle das Roth erster Ordnung der Newton'schen Tafel, so wäre die Verzögerung o — e = 0,00002 Zoll. Forbes untersuchte 5 Glimmerblättchen auf die angegebene Weise, und fand:

| | Farbe | Verzögerung in Millionteln eines Zolles |
|---|---|---|
| Nr. 1. | Weifs ins Gelbliche fallend | 12 |
| Nr. 2. | Tief blau | 28 |
| Nr. 3. | Purpurblau | 43 |
| Nr. 4. | Zwischen Roth und Orange | 36 |
| Nr. 5. | Nelkenroth | 80 |

Die hieraus hervorgehenden relativen Dicken[1] wurden, mit Ausnahme der ersten, annähernd durch Messungen mit einem von Troughton verfertigten Tasterzirkel bestätigt:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Nr. 1 | zeigte eine Dicke von | 0,0026 | Zoll |
| Nr. 2 | — — — — | 0,0044 | — |
| Nr. 3 | — — — — | 0,0074 | — |
| Nr. 4 | — — — — | 0,0060 | — |
| Nr. 5 | — — — — | 0,0157 | — |

1 Newton's Messungen sind ausnehmend genau und obendrein durch wiederholte Prüfungen in neuester Zeit bestätigt worden. Man könnte also durch dieses Mittel die Dicke der Blätter sehr genau finden, wenn nur nicht die Schwierigkeit im Wege stände, die eigentlichen Farben, ob sie der ersten oder einer der folgenden Ordnungen zugehören, mit genügender Sicherheit zu bestimmen, wozu ein auf den Unterschied der Farben sehr geübtes Auge gehört. Maler können dieses am besten, wovon mich der hier verstorbene Roux überzeugte. Es giebt aber ein sehr gutes Hülfsmittel der Controle. Hat man zwei Farben, etwa der ersten Ordnung, gefunden, so darf man nur die Summe ihrer Dicken nehmen und nachsehen, welcher Farbe einer weiteren Ordnung diese zugehört, sie dann auf einander legen und versuchen, ob sie die dieser Dicke zugehörige Farbe geben, in welchem Falle beide Bestimmungen höchst wahrscheinlich richtig sind.

FORBES wählte für die in den polarisirten Strahl gebrachten Glimmerblättchen stets die Lage, daſs sie mit der Polarisationsebene einen Winkel von 45° bildeten, mithin verwandelt sich die von FRESNEL angegebene Formel

$$E^2 = F^2 \left[ \mathrm{Sin.}^2 2i \ \mathrm{Sin.}^2 \pi \left( \frac{o - e}{\lambda} \right) \right]$$

in die einfachere

$$E^2 = F^2 \ \mathrm{Sin.}^2 \pi \left( \frac{o - e}{\lambda} \right)$$

und diesemnach ist

$$E^2 = F^2 \mathrm{Sin.}^2 \, 180^\circ \left( \frac{o - e}{\lambda} \right),$$

also

$$\frac{E^2}{F^2} = \mathrm{Sin.}^2 \, 180^\circ \left( \frac{o - e}{\lambda} \right), \text{ und } O^2 = F^2 - E^2.$$

FORBES stellte zur Auffindung von $\frac{E^2}{F^2}$ verschiedene Versuche an, wobei er als Wärmequelle eine Argand'sche Lampe und heiſses Kupfer[1] in Anwendung brachte. Da ferner die Glimmerblättchen Nr. 3 und 4 nahe dieselbe Dicke hatten, mithin fast auf gleiche Weise depolarisirten, so wurde die vereinte Dicke von Nr. 2 und 3 als Mittelglied zwischen Nr. 3 und 5 eingeschoben. Die polarisirende und die analysirende Platte bildeten die durch I und K bezeichneten Bündel von Glimmerblättchen. Auf diese Weise wurden die in folgenden Tabellen zusammengestellten Gröſsen gefunden.

---

1 MELLONI giebt an, bis etwa 390° oder 400° C. erhitztes Kupfer gebraucht zu haben; FORBES, welcher sich der nämlichen Wärmequelle bedienen wollte, nennt diese später meistens Messing von etwa 700° F. (371°,11 C.). Weil die Wärmequellen, wie beide Gelehrte sie in Anwendung brachten, identisch seyn sollen, die Engländer aber zwischen Messing und Kupfer, wenn es darauf nicht wesentlich ankommt, nicht genau zu unterscheiden pflegen, so habe ich die Bezeichnung MELLONI's beibehalten.

1) Argand'sche Lampe; Glimmerblättchen Nr. 3.

| Neigung der Platte K gegen Platte I | Neigung des Glimmerblättchens | Grade der Magnetnadel | Polarisation $F^2$ | Depolarisation $E^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 0° | 0° | 11°,90 | 8°,45 | |
| 90 | 0 | 3,45 | .... | + 5°,35 |
| 90 | 45 | 8,80 | | |
| 0 | 45 | 6,75 | .... | — 5,35 |
| 0 | 0 | 12,10 | | |
| 90 | 0 | 3,75 | 8,35 | |
| 90 | 45 | 8,80 | .... | + 5,05 |
| 0 | 45 | 6,70 | .... | — 5,35 |
| 0 | 0 | 12,05 | 8,35 | |
| 90 | 0 | 3,70 | | |
| | | Mittel | 8,38 | 5,27 |

2) Heiſses Kupfer; Glimmerblättchen Nr. 3.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 5°,25 | 3°,25[1] | |
| 90 | 0 | 2,00 | | |
| 90 | 45 | 5,75 | .... | + 3°,75 |
| 0 | 45 | 2,15 | .... | — 3,80 |
| 0 | 0 | 5,95 | | |
| 90 | 0 | 1,95 | 4,00 | |
| 90 | 45 | 5,75 | .... | + 3,80 |
| 0 | 45 | 2,60 | .... | — 3,30 |
| 0 | 0 | 5,90 | | |
| 90 | 0 | 1,95 | 3,95 | |
| 90 | 45 | 5,65 | .... | + 3,70 |
| 0 | 45 | 2,30 | .... | — 3,50 |
| 0 | 0 | 5,80 | | |
| 90 | 0 | 1,80 | 4,00 | |
| | | Mittel | 3,98 | 3,64 |

1 Die Lampe unter dem Kupfer war eben angezündet, und diese Gröſse scheint daher zu klein, weswegen sie im Mittel weggelassen ist.

339) Werden die hier gefundenen mittleren Werthe für die Gleichung

$$\frac{E^2}{F^2} = \text{Sin.}^2\, 180^\circ \frac{o - e}{\lambda}$$

benutzt, und nimmt man also:

$$\frac{o - e}{\lambda} = \frac{\text{Arc.}\left(\text{Sin.} \sqrt{\frac{E^2}{F^2}}\right)}{180^\circ},$$

wo die Wurzelgröſse ein doppeltes Zeichen erhält, so geschieht der Gleichung Genüge, wenn $\frac{o - e}{\lambda}$ gleich is einem Bruche a oder $1 - a$; $1 + a$ oder $2 - a$; $2 + a$ oer $3 - a$; $3 + a$ u. s. w. Die mitgetheilte Tabelle giebt bi Anwendung der Argand'schen Lampe

$$\frac{E^2}{F^2} = \frac{5{,}27}{8{,}38} = 0{,}629; \sqrt{\frac{E^2}{F^2}} = \pm 0{,}793,$$

also

$$\frac{o - e}{\lambda} = 0{,}29 \text{ oder } 0{,}71 \text{ oder } 1{,}29 \text{ oder } 1{,}71 \text{ u. s. w.}$$

Für das heiſse Kupfer war

$$\frac{E^2}{F^2} = \frac{3{,}64}{3{,}98} = 0{,}915; \sqrt{\frac{E^2}{F^2}} = \pm 0{,}957,$$

also

$$\frac{o - e}{\lambda} = 0{,}41 \text{ oder } 0{,}59 \text{ oder } 1{,}41 \text{ oer } 1{,}59 \text{ u. s. w.}$$

Der wahre Werth von $\frac{o - e}{\lambda}$ muſs aber der seyn, welcher bei der Anwendung mehrerer Platten gleicförmig mit ihrer Dicke wächst. Die folgende Tabelle enthält a mit Platten von ungleicher Dicke gefundenen Gröſsen.

### 1) Argand'sche Lampe.

| Depolarisirte Platte | $\frac{E^2}{F^2}$ | Werthe von $\frac{o-e}{\lambda}$. |
|---|---|---|
| Nr. 1. | $\frac{2°,15}{7,38} = 0,291$ | 0,18; 0,82; 1,18.... |
| Nr. 1. | $\frac{1,91}{6,67} = 0,286$ | |
| Nr. 2. | $\frac{5,65}{8,53} = 0,662$ | 0,30; 0,70; 1,30.... |
| Nr. 3. | $\frac{5,27}{8,38} = 0,629$ | 0,29; 0,71; 1,29.... |
| Nr. 2 und 3. | $\frac{2,07}{5,55} = 0,373$ | 0,21; 0,79; 1,21.... |
| Nr. 5. | $\frac{1,31}{4,38} = 0,299$ | 0,185; 0,815; 1,185.... |
| Nr. 5. | $\frac{1,44}{4,83} = 0,298$ | |

### 2) Glühendes Platin.

| | | |
|---|---|---|
| Nr. 1. | $\frac{2°,00}{7,60} = 0,264$ | 0,17; 0,83; 1,17.... |
| Nr. 1. | $\frac{1,90}{7,68} = 0,248$ | 0,165; 0,835; 1,165.... |
| Nr. 2. | $\frac{4,66}{7,31} = 0,638$ | 0,30; 0,70; 1,30.... |
| Nr. 3. | $\frac{5,02}{6,70} = 0,749$ | 0,335; 0,665; 1,335.... |
| Nr. 4. | $\frac{5,63}{7,08} = 0,795$ | 0,35; 0,65; 1,35.... |
| Nr. 2 und 3. | $\frac{1,48}{4,66} = 0,318$ | 0,19; 0,81; 1,19.... |
| Nr. 5. | $\frac{1,35}{6,36} = 0,212$ | 0,15; 0,85; 1,15.... |

3) Heifses Kupfer.

| | | |
|---|---|---|
| Nr. 1. | $\frac{1,94}{7,35} = 0,264$ | 0,17; 0,83; 1,17.... |
| Nr. 2. | $\frac{3,17}{4,18} = 0,764$ | 0,34; 0,66; 1,34.... |
| Nr. 3. | $\frac{3,64}{3,98} = 0,915$ | 0,41; 0,59; 1,41.... |
| Nr. 2 und 3. | $\frac{1,01}{3,38} = 0,299$ | 0,185; 0,815; 1,185... |
| Nr. 5. | $\frac{0,62}{4,89} = 0,127$ | 0,115; 0,885; 1,115... |

340) Forbes nimmt für jede Wärmequelle die Dicke der Blättchen zu Abscissen, setzt darauf rechtwinklig die zugehörigen Werthe von $\frac{o - e}{\lambda}$ als Ordinaten, und zieht dann eine gerade Linie, welche die Endpuncte einer der drei zu jeder Abscisse gehörenden Ordinaten schneidet oder ihnen am nächsten kommt, findet aber, dafs die auf diese Weise für die drei Wärmequellen erhaltenen Interpolationslinien, welche die der Dicke der Platten proportionalen Werthe von $\frac{o - e}{\lambda}$ darstellen würden, gleiche Winkel mit der Abscissenlinie bilden. Hieraus schliefst er, dafs man niemals hoffen dürfe, auf diesem Wege die ungleichen Wellenlängen dieser Wärmequellen zu bestimmen, da $\lambda$ entweder sehr wenig oder beständig proportional mit der Veränderung von $o - e$ sich verändert. Alle drei Wärmequellen geben sehr nahe denselben Werth für $\frac{o - e}{\lambda}$, nämlich 1,4 für ein 0,02 Zoll und 0,07 für ein 0,001 Zoll dickes Glimmerblättchen, wogegen das verschiedenfarbige Licht merklich verschiedene Werthe giebt. Vergleichen wir beide mit einander, so ist die Summe der oben angegebenen Verzögerungen in den fünf Glimmerblättchen in Millionsteln eines Zolles $= 12 + 28 + 43 + 36 + 80 = 199$, also 0,000199 Zoll, die Summe der Dicken dieser Blättchen = 0,0361 Zoll, folglich ist der mittlere Werth der Verzögerung $o - e$ für eine Glimmerdicke von 0,001 Zoll $= \frac{0,000199 \times 0,001}{0,0361} = 0,0000055$. Es

ist aber $\lambda$ für das äufserste Roth = 0,0000266 und für das äufserste Violett = 0,0000167, mithin sind die Werthe von $\frac{o-e}{\lambda}$ für ein Glimmerblättchen von 0,001 Zoll Dicke

beim äufsersten rothen Lichte $= \frac{55}{266} = 0{,}207$,

beim äufsersten violetten Lichte $= \frac{55}{167} = 0{,}329$,

bei den Wärmestrahlen — — — = 0,07.

Unter der Voraussetzung also, dafs die Verzögerung o — e für alle Wellenlängen sowohl beim Lichte als auch bei der Wärme gleich sey, ergiebt sich hieraus der Werth von $\lambda$ oder die *Länge der Wärmewellen.* Es ist nämlich $\frac{o-e}{\lambda} = 0{,}07$, und wenn also o — e = 0,0000055 angenommen wird, so ist

$$\lambda = \frac{o-e}{0{,}07} = \frac{0{,}00055}{7} = 0{,}000079 \text{ Zoll},$$

was ungefähr dreimal so lang, als eine Welle des rothen Lichtes, und ungefähr $4\frac{1}{2}$mal so lang, als die des violetten Lichtes ist. Dieses Resultat würde das nämliche bleiben, wenn in dem Verhältnifs $\frac{o-e}{\lambda}$ die Verzögerung o — e veränderlich wäre und nicht bleibend, wie angenommen worden ist. Wäre aber nicht $\lambda$ gröfser, sondern o — e kleiner bei der Wärme als beim Lichte, so müfste die Doppelbrechung schwächer seyn, also eine gröfsere Dicke des Glimmerblättchens erfordert werden, um einen gegebenen Effect hervorzubringen.

Wir haben diese gehaltreichen Untersuchungen in derjenigen Ausführlichkeit mitgetheilt, welche die Wichtigkeit derselben erfordert, besonders wenn man berücksichtigt, dafs hiermit ein Weg betreten worden ist, welcher eine endliche genügende Aufklärung der bisher so dunklen Wärmelehre hoffen läfst. Minder nothwendig scheint uns eine gleiche Ausführlichkeit in der Mittheilung der fortgesetzten Untersuchungen des ebenso thätigen als scharfsinnigen englischen Physikers zu seyn, und es möge daher eine kurze Angabe der wesentlichsten aufgefundenen Resultate genügen.

341) Eine zu den wichtigsten gehörende Reihe von Versuchen war der Aufgabe gewidmet, die *Brechungsverhält-*

*nisse ungleicher Wärmestrahlen* aufzufinden, wozu aus angegebenen Gründen Prismen aus Steinsalz sich vorzugsweise eignen. Wie oben (§. 318) erwähnt wurde, versuchte bereits Melloni dieses Problem mittelst eines Thermomultiplicators zu lösen, welcher aus einer einzigen Reihe in verticaler Linie über einander liegender, thermoelektrischer Elemente bestand, ohne jedoch hiermit zum gewünschten Ziele zu gelangen. Forbes verwarf diesen Apparat und bediente sich eines andern, welcher so eingerichtet war, dafs die Brechungswinkel aus den Winkeln bestimmt wurden, bei denen die Brechung in Zurückstrahlung übergeht. Welche Vorrichtung die bessere sey, dürfte wohl erst durch fortgesetzte Prüfungen zu ermitteln seyn; vor der Hand scheint es, als habe der französische Gelehrte nicht gleiche Beharrlichkeit bei den allerdings sehr feinen Versuchen bewiesen, als der englische, dessen erlangte Resultate übrigens keineswegs vollkommen befriedigen. Inzwischen sind die Folgerungen, die er aus allen seinen Untersuchungen ableitet, für die Wärmelehre von höchster Wichtigkeit[1]. Hiernach ist die mittlere Brechbarkeit der Strahlen verschiedener Wärmequellen sehr wenig, bei den Versuchen kaum oder gar nicht wahrnehmbar, verschieden, und beträgt beim Steinsalz 1,51 bis 1,54, also nur wenig verschieden von der des Lichts, welche beim Steinsalz für die äufsersten Strahlen zu 1,54 und 1,57 angenommen wird. Eingeschaltete Substanzen wirken dagegen desto stärker und dienen nach den bis jetzt bekannten Versuchen im Allgemeinen dazu, die Brechbarkeit zu vergröfsern. Zugleich scheinen die dunklen Wärmestrahlen homogener zu seyn, als die leuchtenden. Aus der Gesammtheit seiner Untersuchungen entnimmt Forbes einige sehr wichtige Folgerungen: 1) Die Ungleichheit der Polarisirbarkeit der Wärmestrahlen, wie sie bei den Lichtstrahlen nicht angetroffen wird, neben dem geringen Unterschiede ihrer Brechbarkeit, macht es höchst wahrscheinlich, dafs für die Wärme eine in mancher Beziehung andere mechanische Theorie aufgesucht werden müsse, als für das Licht. 2) Ebendieses folgt aus den Erscheinungen der Depolarisation, welche denen des Lichts zwar dem Wesen nach ähnlich sind, numerisch aber bedeutend von ihnen abweichen. In dieser Beziehung mufs nach den eben

---

1 Poggendorff's Ann. XLV. 442.

mitgetheilten Resultaten angenommen werden, entweder daſs die Wärmewellen mehrmal länger sind, als die des Lichtes, oder daſs die Geschwindigkeit der ordentlichen und auſserordentlichen Strahlen in doppelt brechenden Krystallen gänzlich von der des Lichtes verschieden sey, oder endlich daſs beides zugleich statt finde. Forbes giebt der zweiten dieser Hypothesen den Vorzug, da die Versuche über die Brechungsverhältnisse zu zeigen scheinen, daſs die mittlere Länge der Wärmewellen von der Länge der Lichtwellen nicht bedeutend abweichen könne. Es scheint dieses auch daraus hervorzugehn, daſs die Gleichheit der Depolarisation und der Brechbarkeit der Strahlen aus verschiedenen Wärmequellen höchst unwahrscheinlich würde, wenn die Wellenlänge in diesen Fällen bedeutend verschieden wäre.

342) Wie oben (§. 319) erwähnt wurde, fand Melloni die Polarisation der Wärmestrahlen durch Turmalinplatten anfangs nicht; als dieses aber durch Forbes in so vollendeter Weise geschehn war, nahm er in Verbindung mit Biot, welcher einen so bedeutenden Antheil an seinen früheren Versuchen hatte, das Problem wieder auf und gelangte zu einer sehr vollständigen Lösung desselben[1]. Um die Messungen möglichst zu verfeinern, legte er unter die mit der Kreistheilung versehene Scheibe der nicht absolut astatischen Doppelnadel eine Kupferscheibe, welche die Oscillationen derselben verminderte und das schnellere Einstellen auf 0 beförderte, auſserdem aber bedeckte er die thermoelektrische Säule mit einem umgekehrten, auf Baumwolle ruhenden Kasten, weil die Luftströmungen einen merkbaren Einfluſs auf sie äuſserten. Eine Oeffnung, worin Blendungen verschiedener Gröſse eingesetzt wurden, verstattete den Wärmestrahlen den Zugang zur Säule, während die Luft im Kasten unbewegt blieb und also gleichmäſsig auf beide Enden der Säule wirkte. Zum Ueberfluſs bestätigte er auſserdem vorläufig den durch Becquerel[2] aufgefundenen und daher früher auch von ihm als richtig angenommenen Satz,

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 1. XL. 18. 257. Ann. de Chim. et Phys. T. LXI. p. 375. T. LXV. p. 5. Ueber die Einrichtung der Versuche mit Turmalinplatten vergl. Bibl. univ. 1835. p. 367. L'Institut 1835. N. 142. Poggendorff's Ann. XXXVII. 218. 494.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXI. p. 375. Poggendorff's Ann. IX. 345.

dafs die Ablenkungen der Nadel den Wärmegraden proportional sind, durch eigene Versuche, die durch Vergleichung der thermoelektrischen Säule mit einem Luftthermometer zeigten, dafs jener Satz für alle Arten der Wärmeerregung, also auch für strahlende Wärme richtig sey. Uebrigens dienten ihm diesesmal die ersten, durch den anfänglichen Einflufs der Wärme erzeugten Ablenkungen der Nadel, die er durch den Ausdruck *Impulsionsbogen* bezeichnet, als Mafs der Wärme, weil sie in etwa 10 bis 12 Secunden erfolgen, statt dafs der stationäre Stillstand der Nadel 90 bis 100 Secunden erfordert und während dieser längeren Zeit der Zustand der Wärmequelle sich ändern kann. Endlich suchte er die Schwierigkeiten, welche die Turmaline erzeugen, indem sie so viele Wärmestrahlen auffangen, dadurch selbst erwärmt werden und daher der Säule und Wärmequelle sehr nahe gerückt werden müfsten, um eine genügende Menge Wärmestrahlen durchzulassen, dann aber von der aufgenommenen Wärme an die Säule abgeben und auf diese Weise die Resultate fehlerhaft machen könnten, dadurch zu umgehen, dafs er die Wärmestrahlen durch einen Reflector parallel machte, sie dann durch eine Steinsalzlinse concentrirte, in deren Brennpuncte sich das Glimmerblättchen befand, die von hier an divergirenden Strahlen abermals durch eine Steinsalzlinse von kürzerer Brennweite parallel machte und so zum Thermomultiplicator leitete. Die Glimmerblättchen wurden nicht genau in den gemeinschaftlichen Brennpunct beider Linsen, sondern der Fläche der zweiten Linse etwas näher gebracht, um die aus ihnen selbst in Folge ihrer Erwärmung ausgehenden secundären Wärmestrahlen divergirend und somit für die Messung unschädlich zu machen. Die Zweckmäfsigkeit dieser Vorrichtung ergab sich, wenn die Glimmerblättchen geschwärzt, dadurch die primitiven Strahlen aufgehoben, die secundären aber verstärkt wurden und dennoch die Nadel nicht afficirten. Die erste Linse hatte 2,5 Z. Durchmesser und 3 Z. Brennweite, die zweite nur 14 Lin. Durchmesser. Die Turmalinplatten waren in zwei Diaphragmen von Kork gefafst und in einer Büchse befestigt, vermittelst deren sich die eine herumdrehen und in diejenige Richtung der Hauptaxen beider bringen liefs, die man verlangte, wozu eine Bezeichnung der Richtung ihrer Hauptaxen auf der Aufsenseite der Büchse diente.

343) Melloni benutzte neun Paare von Turmalinplatten, die das Licht fast vollständig polarisirten, d. h. sämmtlich durchliefsen, wenn ihre Axen parallel waren, und fast gänzlich absorbirten, wenn diese sich durchkreuzten. Folgende Tabelle zeigt die erhaltenen Resultate, worin die letzte Columne den Polarisationsindex in Hunderteln der beim Parallelismus der Axen durchgelassenen Wärmemengen angiebt. Als Wärmequelle diente die früher gebrauchte gemeine (Locatelli'sche) Lampe.

| Nr. | Farbe der Turmalinblättchen | Wärmedurchlafs parallele Axen Bogen | Kräfte | rechtwinklige Axen Bogen | Kräfte | Polarisation |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | dunkelgrün . . . . | 30°,56 | 27,50 | 29°,78 | 26,48 | 3,71 |
| 2 | bläulichgrün . . . | 29,81 | 26,51 | 28,22 | 24,60 | 7,20 |
| 3 | blaugrün . . . . . | 32,35 | 29,40 | 30,11 | 26,90 | 8,50 |
| 4 | gelblichgrün . . . | 31,42 | 28,51 | 29,32 | 25,89 | 9,19 |
| 5 | gelblichgrün . . . | 33,23 | 30,18 | 30,01 | 26,77 | 11,30 |
| 6 | gelbgrün . . . . . | 31,96 | 29,07 | 29,11 | 25,61 | 11,90 |
| 7 | röthlichbraun . . . | 29,89 | 26,62 | 25,32 | 21,88 | 17,72 |
| 8 | schmuzig violett . | 30,69 | 27,67 | 25,45 | 22,00 | 20,48 |
| 9 | fahlgelb . . . . . . | 31,27 | 28,37 | 25,60 | 22,16 | 21,89 |

Es verdient bemerkt zu werden, dafs der Impulsionsbogen im Mittel aus mehreren Beobachtungen, abwechselnd bei parallelen und sich kreuzenden Glimmerblättchen, genommen wurde, um die etwa vorkommenden Fehler auszumerzen, doch war der Apparat so fein construirt, dafs die Unterschiede der Bogen selten mehr als 0,02 betrugen. Die letzte Columne enthält den Polarisationsindex, d. h. den Wärmeantheil, welcher bei der Kreuzung der Platten verschwindet, bezogen auf die Menge, welche beim Parallelismus derselben durchfällt. So giebt die erste Platte bei parallelen Axen 27,5, bei rechtwinklig gekreuzten 26,48; der Unterschied 1,02 zeigt die durch Polarisation verlorene Menge. Um sie auf 100 zu reduciren, hat man

$$26{,}48 : 1{,}02 = 100 : x \text{ und } x = 3{,}71.$$

344) Melloni vermuthete, dafs die ungleiche Polarisation von der ungleichen Diathermansie der verschiedenen Turmalinplatten herrühre, und um dieses auszumitteln, befestigte er Platten verschiedener Substanzen vor demjenigen Turmalinpaare Nr. 9, welches die meisten Strahlen durchliefs, und sorgte dafür, dafs die bei parallelen Axen durchfallende Wärmemenge

möglichst gleich war. Die folgende Tabelle enthält die gefundenen Gröſsen.

| Eingeschaltete Platten | Dicke Millim. | Durchgelassene Wärme parallele Axen Bogen | Kräfte | durchkreuzende Axen Bogen | Kräfte | Polarisation |
|---|---|---|---|---|---|---|
| keine . . . . | 0,00 | 17°,37 | 15,06 | 13°,47 | 11,76 | 21,91 |
| Glas, farblos . . | 1,85 | 17,93 | 15,53 | 13,94 | 12,15 | 21,79 |
| — roth . . . | 1,80 | 16,75 | 14,54 | 13,04 | 11,40 | 21,57 |
| — orange . . | 1,87 | 17,21 | 14,93 | 13,31 | 11,66 | 21,90 |
| — gelb . . . | 1,79 | 17,83 | 15,45 | 13,84 | 12,07 | 21,89 |
| — blau . . . | 1,83 | 17,59 | 15,24 | 13,66 | 11,92 | 21,78 |
| — indigblau . | 1,78 | 17,29 | 14,99 | 13,44 | 11,74 | 21,68 |
| — violett . . | 1,81 | 16,81 | 14,59 | 13,02 | 11,39 | 21,92 |
| — bläulichgrün | 0,74 | 16,99 | 14,74 | 15,95 | 13,86 | 5,95 |
| — desgl. . . | 1,93 | 17,32 | 15,02 | 16,85 | 14,62 | 2,76 |
| — schwarz . . | 0,81 | 17,55 | 15,21 | 16,76 | 14,55 | 4,35 |
| — desgl. . . | 1,98 | 17,80 | 15,42 | 17,52 | 15,19 | 1,51 |
| Schwerspath . . . | 2,60 | 17,10 | 14,83 | 13,18 | 11,52 | 22,30 |
| Gyps . . . . | 2,71 | 16,95 | 14,71 | 10,54 | 9,18 | 37,63 |
| Rüböl . . . . | 8,49 | 16,97 | 14,72 | 10,40 | 9,05 | 38,50 |
| weins. Kalinatron | 2,50 | 17,39 | 15,08 | 9,49 | 8,26 | 45,21 |
| ges. Salzlösung . | 8,49 | 17,49 | 15,16 | 5,78 | 5,06 | 66,60 |
| — Alaun . . . | 8,49 | 17,56 | 15,22 | 5,81 | 5,08 | 66,63 |
| — Weinsäure . | 8,49 | 17,39 | 15,08 | 5,76 | 5,04 | 66,59 |
| — desgl. . . . | 0,74 | 16,96 | 14,72 | 10,76 | 9,38 | 36,31 |
| Wasser . . . . | 8,49 | 16,77 | 14,55 | 5,54 | 4,85 | 66,67 |
| desgl. . . . | 0,74 | 17,20 | 14,92 | 10,91 | 9,50 | 36,27 |
| Bernstein . . . | 3,08 | 17,23 | 14,94 | 8,35 | 7,29 | 51,23 |
| Alaun . . . . | 2,58 | 16,98 | 14,73 | 0,58 | 0,52 | 95,81 |

Es geht aus den hier gefundenen Gröſsen hervor, daſs in Folge der Einschaltung verschiedener Körper in den Strahlenkegel der Wärmestrahlen diese eine gewisse Modification erhalten, vermöge welcher die Turmalinplatten von 100 Strahlen, die sie bei parallelen Axen durchlassen, eine ungleiche Menge bei durchkreuzenden Axen verschlucken, daſs also eine ungleiche Polarisation derselben statt findet. So wie also die verschiedenen diathermanen Körper vermöge ungleicher Diathermansie eine ungleiche Menge Strahlen, aus heterogenen Wärmequellen entsprungen, durchlassen, auſserdem auch eine ungleiche Brechung derselben bedingen, disponiren sie auch die

Strahlen aus homogenen Quellen, ungleich polarisirt zu werden, wozu man noch aufserdem das ungleiche Reflexionsvermögen der Oberflächen verschiedener Körper, ohne Rücksicht auf ihre Diathermanie, setzen kann. Auch bei der Polarisation, wie die Tabelle ergiebt, zeigt die Farbe des Glases, mit Ausnahme der grünen und schwarzen, keinen Einflufs. Die vom Alaun durchgelassenen Strahlen zeigten sich in den früher erwähnten Versuchen den Lichtstrahlen sehr ähnlich, sofern sie alle farblose diaphane Körper leicht durchdringen und von weifsen Oberflächen wenig absorbirt werden; hier gewahrt man die nämliche Eigenschaft rücksichtlich ihres starken Polarisirtwerdens.

345) Dieses Verhalten des Alauns führt zur Erklärung der ungleichen Polarisation verschiedener Turmalinblättchen, deren Diathermansie gleichfalls verschieden ist. Hat daher der eingeschaltete Schirm mit den Turmalinblättchen eine gleiche Diathermansie, und läfst er also dieselben Strahlen in dem nämlichen Verhältnifs durchfallen, als diese Blättchen, so wird zwar die absolute Menge der durchfallenden Strahlen vermöge der ungleichen Diathermansie dieser Schirme verändert, allein die Polarisationen behalten dasselbe Verhältnifs bei. Dieses ist der Fall bei farblosem, rothem, orangefarbenem, gelbem, blauem, indigfarbenem und violettem Glase; allein Wasser, Oel, Bernstein, Alaun, grünes und undurchsichtig schwarzes Glas ändern den Polarisationsindex beträchtlich, weil ihre Diathermansie von der der Turmalinplatten beträchtlich abweicht. Nimmt man aber Turmalinplatten, die nicht mehr die nämliche Diathermansie haben, so werden die Veränderungen, welche die eingeschalteten Schirme in den Werthen des Polarisationsindex erzeugen, nicht mehr dieselben und in der nämlichen Ordnung folgende seyn. Dieses zeigt sich deutlich bei den in folgender Tabelle verzeichneten, mit der Turmalinplatte Nr. 5 unter übrigens gleichen Bedingungen erhaltenen Gröfsen.

| Eingeschaltete Platten | Dicke Millim. | Durchgelassene Wärme parallele Axen Bogen | Kräfte | durchkreuzende Axen Bogen | Kräfte | Polarisation |
|---|---|---|---|---|---|---|
| keine . . . . . . | 0,00 | 17°,11 | 14,84 | 15°,15 | 13,15 | 11,35 |
| bläulichgrünes Glas | 1,93 | 17,65 | 15,30 | 15,54 | 13,49 | 11,83 |
| opak. schwarzes Glas | 1,98 | 17,10 | 14,83 | 15,06 | 13,05 | 11,94 |
| Schwerspath . . . | 2,60 | 17,33 | 15,03 | 15,23 | 13,21 | 12,07 |
| Rüböl . . . . . . | 8,49 | 17,52 | 15,19 | 12,95 | 12,80 | 15,65 |
| Gyps . . . . . . | 2,71 | 17,76 | 15,39 | 12,74 | 12,63 | 17,91 |
| farbloses Glas . . . | 1,85 | 17,27 | 15,08 | 16,24 | 14,11 | 6,46 |
| dito dito . . . | 8,27 | 17,81 | 15,43 | 17,05 | 14,79 | 4,17 |
| Glas, rothes . . . | 1,80 | 17,49 | 15,16 | 16,32 | 14,17 | 6,53 |
| — orangefarbenes | 1,87 | 16,91 | 14,67 | 15,77 | 13,69 | 6,70 |
| — gelbes . . . | 1,79 | 17,22 | 14,93 | 16,12 | 14,00 | 6,15 |
| — blaues . . . | 1,83 | 16,87 | 14,64 | 15,81 | 13,73 | 6,20 |
| — indigfarbiges . | 1,78 | 16,98 | 14,73 | 15,86 | 13,78 | 6,44 |
| — violettes . . . | 1,81 | 17,30 | 15,00 | 16,20 | 14,06 | 6,29 |

346) Die Folgerungen aus den hier mitgetheilten Gröfsen ergeben sich von selbst. Berücksichtigen wir unter diesen namentlich den Einflufs der Dicke der eingeschalteten Platten, so ergiebt sich, dafs der den Polarisationsindex vergröfsernde oder vermindernde Einflufs der Substanzen in dem Mafse stärker ist, in welchem die Dicke wächst. Wasser z. B. erhöhet bei falben Turmalinen, wenn seine Dicke 0,74 Millim. beträgt, den Polarisationsindex von 22 auf 36, durch eine 8 Millim. dicke Schicht aber auf 67, eine schwarze Glasplatte dagegen, welche diesen Index von 22 auf 4 bei einer Dicke von 0,81 Millimeter herabbringt, vermindert ihn bis 1,5 bei 2 Millimeter Dicke. Dieses Verhalten stimmt genau mit dem des Lichtes überein, wenn dasselbe, je nach Beschaffenheit seiner Farbe, die verschiedenen diaphanen Körper durchdringt. Gesättigte Lösungen von Weinsäure, Steinsalz und Alaun in Wasser ändern den Polarisationsindex des letzteren nicht merklich. Alaun und Steinsalz, im Wasser gelöset, obgleich beide Substanzen das Minimum und das Maximum der Diathermanie zeigen, ändern das diathermane Verhalten des Wassers nicht merklich, wie oben bemerkt wurde, und da sie auch den Polarisationsindex nur unmerklich ändern, so ersieht man hieraus, dafs dasselbe, was in Beziehung auf diese Substanzen von der Quantität gilt, auch von der Qualität der Wärmestrahlen gültig ist.

Fängt man die Wärmestrahlen, welche durch gesättigte Lösungen von Steinsalz oder Alaun oder durch reines Wasser gegangen sind, nach einander mit der Säule auf, so erhält man bei gleichen Dicken stets sehr nahe die nämlichen Ablenkungen. Dieselbe Unveränderlichkeit findet auch noch statt, wenn man folgeweise hinter jede dieser Flüssigkeiten dieselbe Platte Alaun oder jeder andern Substanz aufstellt, indem die gemeinschaftliche Ablenkung stets um eine constante Gröſse sinkt.

347) Noch bleibt rücksichtlich der Polarisation durch Turmalinplatten der Einfluſs des Unterschiedes der Wärmequellen zu untersuchen. Zu diesem Ende wurden die Turmalinplattenpaare Nr. 1; 5; 8; 9 den Strahlen der Argand'schen Lampe, der gemeinen (Locatelli'schen) Lampe, des glühenden Platins und des bis 400° C. erhitzten Kupfers ausgesetzt, die in der folgenden Tabelle durch L; Lc; P; K bezeichnet sind.

| | Polarisationsindex. | | | |
|---|---|---|---|---|
| Turmaline | L | Lc | P | K |
| Nr. 1 dunkelgrün . | 0,37 | 3,71 | 5,27 | 0,59 |
| Nr. 5 gelblichgrün . | 5,33 | 11,30 | 13,89 | 3,22 |
| Nr. 8 schmuzigviolett | 24,50 | 20,48 | 17,20 | 2,30 |
| Nr. 9 fahlgelb . . . . | 26,21 | 21,89 | 18,16 | 2,98 |

Im Ganzen wächst die Polarisation durch Turmaline mit der Intensität der Wärmequelle; rücksichtlich der verschiedenen Turmaline und der gleichfalls verschiedenen Wärmequellen treten aber bedeutende Unterschiede hervor. Einige Strahlen erleiden nur eine geringe Polarisation, ja sogar eine so schwache, daſs sie ganz problematisch bleibt, andere] geben deutlichere Spuren, und noch andere werden vollständig, wie die Lichtstrahlen, polarisirt. Die grünen Turmaline namentlich absorbiren die polarisirbaren Wärmestrahlen fast gänzlich oder ganz, andere, namentlich die violetten und gelben Turmaline, lassen die polarisirbaren Strahlen in Menge durch, woraus beiläufig ein bedeutender Unterschied zwischen den Licht- und Wärmestrahlen hervorgeht. Inzwischen folgt hieraus nach Melloni nicht, daſs eine verschiedene Polarisationsfähigkeit den Turmalinen beizulegen sey, vielmehr können alle Wärmestrahlen eine gleiche und vollständige Polarisation im Innern der Turmaline erleiden und dennoch beim Austritt mehr oder weniger pola-

risirt erscheinen. Hierzu reicht die Annahme hin, dafs die Turmaline alle Arten Wärmestrahlen doppelt brechen, aber das eine der bei dieser Doppelbrechung entstehende Bündel bei seinem Durchgange mehr oder weniger absorbiren. Wenn beide gebrochene Bündel gleiche Intensität haben, rechtwinklig polarisirt sind und einander fast decken, so können sie keine Spur von Polarisation zeigen, falls sie einen gleichen Grad von Absorption erleiden. Sobald aber das eine Bündel bei seinem Durchgange einen gröfsern Antheil seiner Intensität verloren hat, so mufs das andere nothwendig bei seinem Austritt Anzeigen von Polarisation geben, und die Erscheinungen gleichen denen des Lichtes, sobald eins der beiden gebrochenen Bündel im Innern der Platten vollständig absorbirt worden ist. Uebrigens scheint es mir keinen Widerspruch in sich zu schliefsen, wenn man den verschiedenen Turmalinen ein durch die Ungleichheit der Wärmequellen bedingtes gröfseres oder geringeres, selbst bis zum Verschwinden abnehmendes Polarisationsvermögen beilegen wollte, wie so viele Körper sich hinsichtlich ihrer Diathermanie und Diathermansie gleichfalls so verschieden zeigen, da es ohnehin wohl noch nicht ausgemacht ist, ob das Verschwinden der Wärmestrahlen durch Polarisation eine Folge der Absorption und nicht vielmehr einer Beruhigung der Wärmewellen oder des Zusammenfallens der positiven mit den negativen, wie bei der Interferenz des Lichtes, ist. Dabei bleibt Melloni's Ansicht immer die wahrscheinlichere; denn im Allgemeinen dürfen wir nach den bestehenden Erfahrungen annehmen, dafs die Wärmeundulationen in Folge des Gebundenwerdens des Wärmeäthers durch wägbare Körper zur Ruhe kommen.

348) Die durch Forbes gleichfalls aufgefundene *Polarisation* der *durch diathermane Körper* unter gewissen Einfallswinkeln durchfallenden Wärmestrahlen, ähnlich der Polarisation des Lichtes beim Durchgange durch mehrere auf einander liegende Glasscheiben, wurde auch durch Melloni einer neuen ausführlichen Untersuchung unterworfen, wozu er gleichfalls mehrere übereinander gelegte dünne Turmalinblättchen anwandte. Gegen das durch Forbes erhaltene Resultat, wonach die nämlichen Glimmerblättchen für verschiedene Wärmequellen ungleiche Gröfsen der Polarisation geben sollen, namentlich mit einer Argand'schen Lampe 0,29, mit einer gemeinen 0,24, mit einer Alkoholflamme

0,36, mit glühendem Platin 0,40, mit erhitztem Kupfer 0,22, mit einem Quecksilbergefäfs von 280° C. Wärme 0,17 und mit einem Gefäfse voll siedenden Wassers 0,06, erhebt Melloni Zweifel und glaubt, dafs die Ursache der Unrichtigkeit von der ungleichen Annäherung der Wärmequelle an den Polarisationsapparat und von dem Einflusse der durch Mittheilung (secundäre Strahlung) von den Turmalinplatten zum Thermomultiplicator gelangenden Wärme herrühre[1]. Als Forbes später die Wärmequellen in constanter Entfernung hielt, fielen die Resultate anders aus, denn die Argand'sche Lampe gab 0,72 bis 0,74; glühendes Platin 0,72; heifses Kupfer 0,63; bis 280° C. heifses Quecksilber 0,48 und siedendes Wasser 0,44; allein auch diese Resultate hält Melloni für nicht ganz fehlerfrei. Wie dieses auch seyn mag, so viel ist auf jeden Fall gewifs, dafs die sogenannten dunklen Wärmestrahlen beim Durchgange durch geeignete Körper gleichfalls polarisirt werden, wie auch aus später fortgesetzten Versuchen von Forbes[2] unwidersprechlich hervorgeht.

349) Um die polarisirenden Platten (oder *Säulen*, wie sie genannt werden) der über einander liegenden Glimmerblättchen zu erhalten, nimmt man nach Melloni eine gewöhnliche Glimmerplatte von 1 oder 2 Millim. Dicke, bestimmt durch optische Mittel die Lage der Axen und schneidet im Sinne dieser beiden auf einander senkrechten Richtungen ein Rechteck von 8 bis 10 Centim. Seite aus, verfertigt einen Rahmen aus dünner Pappe, dessen innere rechteckige Oeffnung nach allen Seiten etwa 6 bis 8 Millim. kleiner ist, als die Glimmerplatte, spaltet letztere nach einander in möglichst dünne Blättchen, klebt diese vermittelst Gummi nach einander mit zwischen den Rändern liegenden dünnen und schmalen Papierstreifen, ihre ursprüngliche Lage beibehaltend, über die Oeffnung des Rahmens, legt endlich einen zweiten gleichen Rahmen darüber und klebt die

---

1 Forbes verwahrt sich gegen diesen Einwurf, und wirklich konnten die Glimmersäulen nicht bedeutend erwärmt werden, da die Impulsionsbogen gemessen wurden, mithin die Einwirkung der Wärmequelle nur momentan war. Der Unterschied der Resultate, welche beide Experimentatoren erhielten, scheint ihm in der ungleichen Menge der gebrauchten Glimmerblättchen zu liegen. S. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXX. p. 542.

2 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLVI. p. 246.

Ränder beider Rahmen mit Papierstreifen so zusammen, dafs die zwischenliegenden Blättchen sich nicht verschieben können. Melloni verfertigte auf diese Weise acht Paare solcher Glimmersäulen von 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 und 35 Blättchen. Sein Polarisationsapparat war der von Biot[1] angegebene, bestehend aus einem horizontalen Rohre, mit einer hohlen Fassung an beiden Enden, die sich durch Reibung festgehalten umdrehen liefsen, wobei die Umdrehung durch eine auf dem Rande der Fassungen angebrachte Theilung in 360 Grade gemessen wurde. Jede der Fassungen hat an ihrem freien Ende zwei hervorragende Arme, die als Träger eines Rahmens dienen, in welchen die beschriebenen Turmalinsäulen eingesetzt werden. Die Rahmen werden durch zwei, in der Mitte ihrer gegenüberstehenden Seiten befestigte Axen getragen, die durch zwei Löcher in den genannten Armen gesteckt sind; eine Klemmschraube dient, sie in der erforderlichen Neigung gegen die Axe des Rohres festzustellen, und ein an der einen Axe befestigter getheilter Kreis dient zur Messung dieser Neigung, worin sie festgestellt sind. Eine auf dem Rohre mit dessen Axe parallele Linie, welche an beiden Enden bis zum Rande der Fassungen reicht, zeigt den Anfangspunct, von welchem die Umdrehung der getheilten Ränder der Fassungen ausgeht. Die Strahlen der Wärmequellen werden durch eine Steinsalzlinse gesammelt und in einen Cylinder vereinigt, dessen Axe mit der des Rohres zusammenfällt, und um den Einflufs der Erwärmung des Apparates und eine hierdurch bewirkte secundäre Strahlung zu vermeiden, wird vor den Polarisationsapparat ein doppelter oder dreifacher Metallschirm gestellt, mit einer vierkantigen Oeffnung von der Gröfse der kleinsten angewandten Glimmersäule. Auf diese Weise war es möglich, die Lampe als Wärmequelle 40 bis 50 Cent. vom Polarisationsapparate und die thermoelektrische Säule 20 bis 30 Cent. hinter demselben, alle drei in derselben horizontalen Ebene, aufzustellen. Weil die Menge der durchgelassenen Wärmestrahlen mit der Zahl der über einander liegenden Glimmerblättchen abnimmt, so beseitigte Melloni diesen Unterschied nicht durch gröfsere Annäherung der Wärmequelle, was leicht Fehler herbeiführt, sondern indem er hinter derselben einen metallenen Hohlspiegel aufstellte,

1 Traité. T. IV. p. 255.

welcher die Strahlen concentrirte, und sie auf die Steinsalzlinse warf, so daſs diese auſser den Strahlen der ihr zugewandten Seite der Flamme auch die der abgewandten in einen gemeinsamen Cylinder vereinigte. Dieser Hohlspiegel wurde anfangs für die aus den wenigsten Blättchen bestehenden Säulen völlig mit Ruſs geschwärzt und nachher um einen angemessenen Theil wieder blank gemacht, so weit es die gröſsere Zahl der Glimmerblättchen erforderte. Für jedes einzelne Säulenpaar blieb übrigens der Apparat ungeändert, um die erhaltenen Resultate unter sich vergleichbar zu machen.

350) Ehe wir in den folgenden Tabellen die erhaltenen Resultate mittheilen, müssen wir noch eine Thatsache erörtern, welche Melloni durch unmittelbare Messungen aufgefunden zu haben versichert. Die polarisirte oder die bei der Kreuzung der polarisirenden Platten verschwindende Wärme wird weder zerstört noch absorbirt, sondern bloſs reflectirt. Sind nämlich beide polarisirende Flächen einander parallel und in einem Winkel von 30 bis 40 Grad gegen den einfallenden Wärmecylinder geneigt, und stellt man den Thermomultiplicator so, daſs die von der hinteren Fläche reflectirten Strahlen ihn treffen würden, so rührt sich die Nadel kaum oder gar nicht, stellt man aber die vordere Platte rechtwinklig gegen die hintere, so tritt sofort eine bedeutende Abweichung der Nadel ein.

351) Die Bezeichnungen in den nachfolgenden Tabellen sind dieselben, wie in den früheren; jedoch ist Folgendes zu bemerken. Die Neigung bezeichnet den Winkel, welchen die Fläche des polarisirenden Glimmerbündels mit der Axe des einfallenden Wärmecylinders bildet, und Polarisation bezeichnet die Menge Strahlen von 100, welche von den beim Parallelismus der Säulen durchgelassenen durch die Kreuzung derselben polarisirt wird oder verschwindet. Die übrigen Columnen sind durch die Ueberschriften deutlich.

Durchgelassene Wärme.

| Neigung | Parallele Axen Bogen | Parallele Axen Kräfte | Durchkreuzende Axen Bogen | Durchkreuzende Axen Kräfte | Polarisation |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Taf. I. Säulen von 3 Blättchen.** | | | | |
| 45° | 35°,29 | 31,68 | 32°,01 | 29,12 | 8,08 |
| 43 | 34,99 | 31,52 | 30,77 | 27,78 | 11,87 |
| 41 | 34,24 | 31,12 | 29,55 | 26,18 | 15,87 |
| 39 | 33,58 | 30,55 | 28,13 | 24,49 | 19,84 |
| 37 | 32,84 | 29,81 | 26,22 | 22,70 | 23,85 |
| 35 | 31,78 | 28,88 | 24,23 | 20,86 | 27,77 |
| 33 | 30,71 | 27,70 | 21,98 | 18,87 | 31,87 |
| 31 | 29,44 | 26,04 | 19,40 | 16,73 | 35,76 |
| 29 | 27,41 | 23,81 | 16,53 | 14,35 | 39,73 |
| 27 | 24,57 | 21,18 | 13,63 | 11,90 | 43,81 |
| 25 | 21,24 | 18,25 | 10,94 | 9,54 | 47,73 |
| 23 | 17,31 | 15,01 | 8,27 | 7,22 | 51,89 |
| 21 | 13,31 | 11,63 | 5,88 | 5,15 | 55,72 |
| 19 | 9,22 | 8,02 | 3,71 | 3,24 | 59,60 |
| 17 | 5,02 | 4,39 | 1,83 | 1,60 | 63,55 |
| | **Taf. II. Säulen von 5 Blättchen.** | | | | |
| 45° | 35°,92 | 32,01 | 28°,54 | 24,95 | 22,06 |
| 43 | 35,69 | 31,89 | 27,01 | 23,45 | 26,46 |
| 41 | 35,42 | 31,75 | 25,16 | 21,73 | 31,56 |
| 39 | 35,21 | 31,64 | 23,47 | 20,15 | 36,31 |
| 37 | 34,33 | 31,17 | 21,39 | 18,38 | 41,03 |
| 35 | 33,30 | 30,26 | 19,75 | 16,46 | 45,61 |
| 33 | 31,64 | 28,74 | 16,39 | 14,23 | 50,49 |
| 31 | 29,71 | 26,38 | 13,80 | 12,03 | 54,39 |
| 29 | 27,38 | 23,79 | 11,29 | 9,85 | 58,59 |
| 27 | 23,70 | 20,36 | 8,72 | 7,61 | 62,62 |
| 25 | 20,04 | 17,23 | 6,60 | 5,77 | 66,51 |
| 23 | 16,01 | 13,91 | 4,74 | 4,14 | 70,24 |
| 21 | 11,71 | 10,24 | 3,06 | 2,68 | 73,83 |
| 19 | 7,58 | 6,63 | 1,71 | 1,50 | 77,37 |
| 17 | 3,42 | 2,99 | 0,66 | 0,58 | 80,60 |

| Nei-gung | Durchgelassene Wärme. Parallele Axen Bogen | Parallele Axen Kräfte | Durchkreuzende Axen Bogen | Durchkreuzende Axen Kräfte | Polarisation |
|---|---|---|---|---|---|
| Taf. III. Säulen von 10 Blättchen. | | | | | |
| 45° | 29°,82 | 26,53 | 17°,21 | 14,93 | 43,73 |
| 43 | 31,41 | 28,49 | 16,48 | 14,31 | 49,77 |
| 41 | 33,29 | 30,24 | 15,36 | 13,32 | 55,95 |
| 39 | 35,19 | 31,63 | 13,95 | 16,16 | 61,56 |
| 37 | 36,46 | 32,50 | 12,31 | 10,77 | 66,86 |
| 35 | 36,86 | 32,88 | 10,63 | 9,26 | 71,84 |
| 33 | 36,72 | 32,75 | 8,90 | 7,75 | 76,34 |
| 31 | 33,79 | 30,76 | 6,92 | 6,05 | 80,33 |
| 29 | 30,94 | 28,00 | 5,25 | 4,59 | 83,61 |
| 27 | 27,89 | 24,25 | 3,72 | 3,25 | 86,60 |
| 25 | 23,19 | 19,89 | 2,44 | 2,14 | 89,24 |
| 23 | 17,60 | 15,26 | 1,55 | 1,36 | 91,09 |
| Taf. IV. Säulen von 15 Blättchen. | | | | | |
| 45° | 24°,12 | 20,75 | 9°,30 | 8,09 | 61,01 |
| 43 | 27,08 | 23,51 | 8,95 | 7,79 | 66,87 |
| 41 | 29,59 | 26,23 | 8,16 | 7,13 | 72,82 |
| 39 | 31,66 | 28,76 | 7,23 | 6,32 | 78,03 |
| 37 | 33,79 | 30,77 | 6,15 | 5,38 | 82,51 |
| 35 | 35,58 | 31,83 | 4,99 | 4,36 | 86,30 |
| 33 | 35,44 | 31,76 | 3,90 | 3,40 | 89,29 |
| 31 | 32,13 | 29,22 | 2,90 | 2,54 | 91,31 |
| 29 | 29,04 | 25,52 | 2,14 | 1,87 | 92,67 |
| 27 | 24,41 | 21,03 | 1,55 | 1,36 | 93,53 |
| 25 | 18,23 | 15,78 | 1,07 | 0,94 | 94,04 |
| 23 | 12,05 | 10,54 | 0,68 | 0,60 | 94,31 |

Durchgelassene Wärme.

| Neigung | Parallele Axen Bogen | Parallele Axen Kräfte | Durchkreuzende Axen Bogen | Durchkreuzende Axen Kräfte | Polarisation |
|---|---|---|---|---|---|
| Taf. V. Säulen von 20 Blättchen. | | | | | |
| 45° | 21°,23 | 18,24 | 6°,56 | 5,74 | 68,53 |
| 43 | 24,60 | 21,23 | 6,51 | 5,69 | 73,20 |
| 41 | 28,08 | 24,44 | 6,22 | 5,44 | 77,74 |
| 39 | 30,66 | 27,63 | 5,68 | 4,97 | 82,01 |
| 37 | 33,55 | 30,52 | 5,00 | 4,37 | 85,01 |
| 35 | 36,21 | 32,25 | 4,24 | 3,70 | 88,53 |
| 33 | 36,18 | 32,22 | 3,41 | 2,98 | 90,75 |
| 31 | 34,60 | 29,50 | 2,52 | 2,21 | 92,51 |
| 29 | 27,63 | 24,01 | 1,68 | 1,47 | 93,88 |
| 27 | 21,52 | 18,49 | 1,13 | 0,99 | 94,64 |
| 25 | 14,41 | 12,53 | 0,73 | 0,64 | 94,89 |
| 23 | 8,31 | 7,26 | 0,41 | 0,36 | 95,04 |
| Taf. VI. Säulen von 25 Blättchen. | | | | | |
| 45° | 18°,57 | 16,05 | 4°,17 | 3,64 | 77,32 |
| 43 | 22,78 | 19,53 | 4,19 | 3,66 | 81,26 |
| 41 | 26,51 | 22,97 | 4,00 | 3,49 | 84,81 |
| 39 | 29,71 | 26,39 | 3,71 | 3,24 | 87,72 |
| 37 | 32,45 | 29,48 | 3,28 | 2,84 | 90,33 |
| 35 | 35,42 | 31,75 | 2,61 | 2,39 | 92,47 |
| 33 | 35,56 | 31,82 | 2,20 | 1,93 | 93,93 |
| 31 | 31,75 | 28,85 | 1,73 | 1,52 | 94,73 |
| 29 | 27,20 | 23,62 | 1,33 | 1,17 | 95,05 |
| 27 | 20,51 | 17,63 | 0,99 | 0,87 | 95,06 |
| 25 | 13,13 | 11,48 | 0,65 | 0,57 | 95,03 |
| 23 | 6,90 | 6,03 | 0,34 | 0,30 | 95,02 |

Durchgelassene Wärme.

| Neigung | Parallele Axen Bogen | Parallele Axen Kräfte | Durchkreuzende Axen Bogen | Durchkreuzende Axen Kräfte | Polarisation |
|---|---|---|---|---|---|
| Taf. VII. Säulen von 30 Blättchen. | | | | | |
| 45° | 16°,92 | 14,68 | 2°,73 | 2,39 | 83,72 |
| 43 | 21,50 | 18,47 | 2,74 | 2,40 | 87,01 |
| 41 | 25,84 | 22,18 | 2,52 | 2,21 | 90,04 |
| 39 | 29,36 | 25,93 | 2,30 | 2,01 | 92,25 |
| 37 | 32,38 | 29,43 | 2,12 | 1,86 | 93,68 |
| 35 | 35,96 | 32,03 | 1,90 | 1,67 | 94,79 |
| 33 | 36,53 | 32,56 | 1,83 | 1,60 | 95,09 |
| 31 | 31,90 | 29,01 | 1,62 | 1,42 | 95,11 |
| 29 | 27,11 | 23,24 | 1,30 | 1,14 | 95,16 |
| 27 | 19,89 | 17,13 | 0,94 | 0,83 | 95,15 |
| 25 | 12,33 | 10,79 | 0,59 | 0,52 | 95,18 |
| 23 | 5,81 | 5,68 | 0,28 | 0,25 | 95,08 |
| Taf. VIII. Säulen von 35 Blättchen. | | | | | |
| 45° | 14°,69 | 12,75 | 1°,71 | 1,50 | 88,24 |
| 43 | 19,35 | 16,69 | 1,72 | 1,51 | 90,95 |
| 41 | 23,86 | 20,51 | 1,63 | 1,43 | 93,03 |
| 39 | 27,99 | 24,34 | 1,56 | 1,37 | 94,35 |
| 37 | 30,83 | 27,85 | 1,60 | 1,40 | 94,97 |
| 35 | 33,88 | 30,86 | 1,74 | 1,52 | 95,07 |
| 33 | 34,93 | 31,49 | 1,76 | 1,54 | 95,11 |
| 31 | 30,89 | 27,93 | 1,57 | 1,38 | 95,06 |
| 29 | 25,67 | 22,19 | 1,24 | 1,09 | 95,09 |
| 27 | 18,23 | 15,78 | 0,88 | 0,77 | 95,12 |
| 25 | 10,92 | 9,52 | 0,53 | 0,47 | 95,06 |
| 23 | 4,34 | 3,79 | 0,22 | 0,19 | 94,99 |

Aus diesen Tafeln lassen sich folgende Resultate entnehmen. 1) Die Menge der durch Polarisation verschwindenden Wärmestrahlen wächst, sowie der Winkel, unter welchem die auffallenden Strahlen auf die polarisirende Fläche auffallen, kleiner wird. 2) Bei Säulen von einer gröſseren Anzahl Blättchen erreicht die Polarisation bei einem gewissen Neigungswinkel ein

Maximum und bleibt auf diesem bei abnehmenden Winkeln stehen. 3) Die Neigung, bei welcher der unveränderliche Werth eintritt, nimmt mit der Anzahl der Blättchen zu.

352) Uebrigens ist die Gröfse der Polarisation so, dafs man sie fast vollständig nennen kann, sie erreicht mehr als 0,95, und Melloni glaubt, dafs auch das Licht, wenn man genaue Messungen anstellen könnte, nicht stärker polarisirt werde, denn wenn er durch die Maschine sah, nahm er noch immer einen geringen Lichtschimmer wahr; überhaupt aber ist die Uebereinstimmung der Polarisationsphänomene durch Refraction zwischen Licht und Wärme so auffallend, dafs man daraus mit Grunde auf eine den Wärmestrahlen zukommende Polarisation durch Reflexion schliefsen kann. Der Einfallswinkel, welcher die stärkste Polarisation giebt, ist schwer zu bestimmen, weil der Einflufs der durchgehenden Strahlen dieses hindert, deren Menge beim lothrechten Einfall am gröfsten ist (wobei übrigens gar keine Polarisation statt findet), aber auch beim schiefen Auffallen nicht gänzlich wegfällt. Inzwischen nimmt diese Unbestimmtheit ab, je mehr Blättchen auf einander liegen, weswegen Melloni zu seinen Säulen noch andere von mehreren Lagen verfertigte, so dafs es ihm möglich wurde, die Wärmedurchgänge durch ungleich zahlreiche Lagen bei verschiedenen Einfallswinkeln zu messen, wobei jedoch zu bemerken ist, dafs wegen ungleicher Intensität der Wärmequelle die Resultate nur unter sich vergleichbar sind.

| Neigung | | Wärmedurchgang 20 Blättchen | 60 Blättchen | 120 Blättchen |
|---|---|---|---|---|
| 35° | 0′ | 37°,34 | 35°,97 | 31°,86 |
| 34 | 30 | 37,42 | 36,48 | 32,71 |
| 34 | 0 | 37,46 | 36,87 | 33,07 |
| 33 | 30 | 37,39 | 37,10 | 33,29 |
| 33 | 0 | 37,09 | 36,82 | 33,02 |

Aus diesen Gröfsen folgt, dafs der Einflufs der durchgehenden, nicht polarisirten Wärme bei Säulen von vielen Blättchen wegfällt. Nach der Uebereinstimmung der beiden letzten Columnen gehört das Maximum des Durchganges zu einem Winkel von 33° 30′ und liegt etwas näher bei 34°. Melloni be-

merkt hierbei, dafs nach Brewster beim Lichte die Tangente des Polarisationswinkels durch die Zahl gegeben wird, welche den Refractionsindex des als Reflector angewandten Körpers ausdrückt. Der mittlere Refractionsindex für Glimmer[1] ist aber = 1,5 und diese Gröfse gehört als Tangente zum Winkel von 56° 19′, also von der Fläche an gerechnet 33° 41′, mithin ist der Winkel der vollständigen Polarisation durch Reflexion sehr nahe derselbe für Wärme und für Licht.

353) Bringt man vor die Oeffnung des Schirmes, durch welche bei Melloni's Apparate die Wärmestrahlen fallen, ehe sie zu den polarisirenden Glimmersäulen gelangen, eine dünne Schicht irgend einer Art, z. B. Alaun, Bernstein, schwarzes Glas, Wasser, Oel oder einer sonstigen diathermanen Substanz, so findet man den Polarisationsindex hierdurch gar nicht geändert, wie sich am auffallendsten zeigt, wenn man Substanzen von ganz verschiedener Diathermansie wählt, z. B. einerseits schwarzes oder grünes Glas, andererseits Wasser, Citronensäure oder Alaun. Nach der oben (§. 344) mitgetheilten Tabelle ist der Polarisationsindex für Strahlen, welche durch die beiden ersten Körper gegangen sind, bei Turmalinblättchen fast 0, für Alaun aber 0,95; werden aber diese Strahlen durch die polarisirenden Glimmersäulen modificirt, so zeigen die Polarisationsindices keinen mefsbaren Unterschied, und es werden daher die von verschiedenen Körpern durchgelassenen Wärmestrahlen, wie heterogener Art sie auch sind, durch Refraction gleich stark polarisirt, oder aber, was einerlei ist, die Polarisation, welche durch die brechenden Kräfte der Medien erzeugt wird, ist unabhängig von der Qualität der Wärmestrahlen. Melloni bestätigte diese Folgerung durch directe Versuche, die er mit der Lampe, dem glühenden Platindraht und dem erhitzten Kupfer anstellte, und weil die sogenannten dunklen Strahlen so schwer durch Glimmer dringen, wählte er Säulen von wenigen Lagen, schwächte dann aber die Strahlen der stärkeren Wärmequellen durch eine erforderliche Menge zwischengestellter Glasschirme, so dafs bei gleichem Abstande die Intensität aller drei Quellen gleich wurde. Es zeigten sich dann die Polarisationsindices bei der Anwendung aller drei Wärmequellen ganz gleich. Man kann übrigens eine Quelle leuch-

---

1 Biot Traité. T. IV. p. 80.

tender Wärmestrahlen einer solchen, welche dunkle aussendet, dadurch gleich machen, dafs man eine Scheibe schwarzen Glases einschaltet, wodurch man blofs die letztere erhält. Um aber diese Gleichheit der Polarisationsfähigkeit aller Arten von Wärmestrahlen mit den durch Turmalinplatten erhaltenen Resultaten in Einklang zu bringen, mufs man berücksichtigen, dafs in den Turmalinplatten eine Ursache liegt, welche die polarisirenden Wirkungen bald versteckt, bald sichtbar werden läfst. Diese kann keine andere seyn, als die Doppelbrechung, vermöge welcher in den mit der Krystallisationsaxe parallel geschnittenen Platten allezeit zwei einander deckende Bündel von gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Polarisationsfähigkeit hervorgebracht werden. Im Fall, wo sich die Wirkung der Turmaline zeigt, wird eins dieser Bündel vollständig absorbirt und nur das andere bleibt mit der ihm eigenen Polarisationsfähigkeit übrig; im entgegengesetzten Falle erleiden beide Bündel eine gleiche Absorption und treten, in Bezug auf die Polarisation, vollkommen neutralisirt gemeinschaftlich aus. Wenn dann im letzten Falle die austretende Wärme der gewöhnlichen Wärme ähnlich ist, so mufs nothwendig das zweite Bündel, welches zuvor absorbirt wurde, rechtwinklig gegen das erste polarisirt seyn, und zwar vollständig, denn isolirt zeigt sich das erste Wärmebündel in diesem Zustande.

354) Gegen die Resultate, welche Forbes zum Beweise einer existirenden *Depolarisation* erhalten hat, und woraus er schliefst, dafs die verschiedenartigen Wärmestrahlen ungleich dopolarisirbar sind, sucht Melloni den nämlichen Einwurf geltend zu machen, welchen er gegen die Genauigkeit der von jenem gefundenen Gröfsen der Polarisation überhaupt aufgestellt hat, nämlich dafs die secundäre Strahlung einen Einflufs ausgeübt habe, weswegen sich bei seinen eigenen Versuchen dieser Unterschied nicht herausstellte. Auch hierbei liefs er die Wärmestrahlen aus den stärkeren Wärmequellen durch so viele hinter einander befindliche Glasscheiben durchgehn, bis sie den schwächeren an Intensität gleich wurden, und erhielt dann für alle gleiche Gröfsen der Depolarisation, so dafs die Existenz derselben durch diese wiederholten Versuche abermals bestätigt worden ist. Die zwischen beiden Experimentatoren streitige Frage, ob die aus verschiedenen Quellen entstehenden Wärmestrahlen eine ungleiche Polarisation erleiden, haben Beide kei-

neswegs aufgegeben. Forbes[1] bezog sich auf seine Erfahrungen, und wiederholte die Behauptung, dafs die Strahlen aus Wärmequellen von niedrigerer Temperatur weniger polarisirt werden, als die, welche von stärker glühenden Körpern ausgehn, was wohl nichts anderes heifsen kann, als dafs die sogenannten dunkelen Wärmestrahlen sich von den zugleich leuchtenden durch eine geringere Polarisirbarkeit unterscheiden. Die Ursache der Abweichung der durch ihn gefundenen Resultate von denen, welche Melloni erhielt, glaubt er darin zu finden, dafs Letzterer dickere Glimmerblättchen zu seinen Säulen genommen habe, als er selbst, da er dieselben durch rasches Erwärmen über Kohlen und hierdurch bewirktes Zerspalten in gröfster Feinheit erhielt. Hierauf erwidert aber Melloni, dafs eben diese Art der Bereitung den Irrthum herbeigeführt habe, sofern die durch dieses Mittel gespaltenen Blättchen nicht überall gleichmäfsig polirte Flächen erhalten konnten, mithin verschiedene Rauheiten zurücklassen mufsten, durch welche die dunkelen Wärmestrahlen leichter drangen, sich mit den polarisirten vereinigten, und daher den Schein einer geringeren Polarisirung erzeugten. Um diese Behauptung durch den Versuch zu unterstützen, verfertigte er sich aus einer einzigen Glimmerplatte von doppelter Länge, die er in der Mitte durchschnitt, zwei gleiche Paare Säulen, aus je fünf Blättchen bestehend, die sich durch nichts weiter von einander unterschieden, als dafs die Blättchen des einen Paars auf beiden Seiten mit der Spitze eines Federmessers geritzt waren, um ihnen eine rauhe Oberfläche zu geben. Mit diesen erhielt er folgende Resultate als das Mittel aus 10 Versuchen mit möglichster Vermeidung aller störenden Einflüsse.

---

1 Compt. rend. 1838. T. I. p. 705.

| Wärmequelle | Säulen | Brechungsebenen parallel | gekreuzt | Polarisation |
|---|---|---|---|---|
| heifses Kupfer . . . | geritzt | 9°,15 | 5°,76 | 37 |
| | polirt | 9,20 | 4,59 | 50 |
| gemeine Lampe . . | geritzt | 9,12 | 4,95 | 46 |
| | polirt | 9,10 | 4,55 | 50 |
| desgl. mit Glaslinse | geritzt | 9,06 | 4,62 | 49 |
| | polirt | 9,19 | 4,58 | 50 |

Die letzte Columne giebt die Menge der Strahlen, welche in Folge des Kreuzens der Säulen von 100 verloren wurden, und man könnte allerdings daraus folgern, dafs bei der Anwendung des bis 400° C. erhitzten Kupfers die wenigsten Strahlen verloren wurden, also eine geringere Polarisation statt gefunden habe; Melloni betrachtet dieses aber nach seiner Ansicht als eine Folge der rauheren Oberflächen, weil die Säulen übrigens ganz gleich waren, weswegen auch bei der Anwendung einer gewöhnlichen Lampe mit vorgehaltener Glaslinse der Unterschied zwischen dem Polarisationsvermögen der geritzten und der polirten Säulen verschwand und alle drei Lichtquellen mit den letzteren gleiche Gröfsen der Polarisation gaben.

355) Eine nähere Würdigung dieser Einwürfe veranlafste Forbes zu einer neuen, tiefer in die Sache eingehenden Untersuchung, deren Resultate wir in Kürze mittheilen wollen[1]. Im Allgemeinen gesteht er zu, dafs eben das Zerspalten der Glimmerblättchen durch Hitze eine Rauheit ihrer Oberfläche herbeigeführt habe, wodurch dann die Abweichung der erhaltenen Resultate von der gewöhnlichen Regel veranlafst worden sey. Um hierüber näheren Aufschlufs zu erhalten, bezog sich eine vierte Reihe von Versuchen desselben auf die Auffindung der Wirkungen, welche die mechanische Textur der Schirme auf den unmittelbaren Durchgang der strahlenden Wärme hervorbringt. Als Grundlage hierbei diente Melloni's Entdeckung, dafs reines Steinsalz, welches alle Arten von Wärmestrahlen mit gleicher Leichtigkeit durchläfst, durch einen Ueberzug von Rufs die Eigenschaft erhält, die sogenannten dunklen Wärmestrahlen

1 Edinburgh Philos. Trans. T. XV. P. I. Poggendorff's Ann. LI. 83. 387.

mehr durchzulassen, die von jeder andern Substanz, als Glas, Alaun u. s. w., am meisten zurückgehalten werden. Forbes sagt, es heiſse dieses nichts anderes, als daſs Steinsalz in Beziehung auf Wärme die nämlichen Wirkungen äuſsere, welche ganz klares Glas auf die Lichtstrahlen ausübe, indem durch dieses Lichtstrahlen, durch jenes Wärmestrahlen, beide von jeder Brechung, dringen, statt daſs alle andere diathermane Substanzen die Wärmestrahlen von geringerer Brechung absorbiren, so wie blaues und violettes Glas die am wenigsten gebrochenen Lichtstrahlen gleichfalls absorbiren. Die Richtigkeit dieser Ansicht leuchtet sofort ein, wenn man überlegt, daſs alle in die Wärmestrahlen gebrachte Medien das Maximum der Wärme im Spectrum, wenn es durch Steinsalz erzeugt ist, den rothen oder selbst den gelben Strahlen mehr nähern. Eine dieser entgegengesetzte Wirkung äuſsert das Steinsalz, wenn es mit einem Ueberzug von Ruſs bedeckt ist, indem es alsdann so auf die Wärmestrahlen, wie ein rothes Glas auf die Lichtstrahlen wirkt, nämlich die am wenigsten brechbaren Wärmestrahlen durchläſst, die brechbareren dagegen absorbirt, und da aus den früheren Versuchen von Forbes hervorgeht, daſs die durch Hitze gespaltenen Glimmerblättchen eine ähnliche Wirkung zeigen, so ist damit die Wissenschaft auf jeden Fall einen bedeutenden Schritt weiter gefördert, sofern sich eine sehr genaue Uebereinstimmung zwischen dem Verhalten der Lichtstrahlen und Wärmestrahlen herausstellt.

356) Die Wirkung des durch Hitze zersplitterten Glimmers rührt allem Anschein nach von der Aufblätterung desselben in eine unendliche Menge kleiner Flächen und den dadurch veranlaſsten zahllosen Reflexionen her, und die Frage muſste sich daher aufdrängen, ob die Wirkung des Ruſses von seiner eigenthümlichen Natur oder der durch ihn erzeugten Rauhei der Oberfläche herrühre. Um hierüber zu entscheiden, verglich Forbes die Wirkungen von Steinsalz mit beruſster und mit durch Schmirgelpapier rauh gemachter Oberfläche, wobei er folgende Resultate erhielt.

| Wärmequellen. | Von 100 Strahlen gingen durch Steinsalz | | Relativer Durchgang durch Steinsalz | |
|---|---|---|---|---|
| | berufst | rauh | berufst | rauh |
| gemeine Lampe mit Glas | 30 | 49 | 100 | 100 |
| gemeine Lampe ohne Glas | — | 62 | — | 126 |
| dunkelheifses Kupfer . . | 58 | 70 | 192 | 142 |
| siedendes Wasser . . . . | 67 | 77 | 223 | 157 |

Da diese Gröfsen kein befriedigendes Resultat gaben, so argumentirte Forbes, dafs die Wirkungen einer doppelt dicken Rufsschicht bedeutend von denen zweier Flächen von einfacher Dicke abweichen müfsten, wenn die Rufsschicht überhaupt blofs durch Veränderung der Oberfläche wirke. Daher überzog er eine Platte Steinsalz A mit einer Schicht von doppelter Dicke, zwei andere D und E jede mit einer einfachen, und erhielt folgende Resultate.

| | | Von 100 durchgelassenen Strahlen | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lampe mit Glas | Lampe ohne Glas | dunkles Kupfer |
| Steinsalzplatte | A . . . | 8,3 | 17,2 | 32,9 |
| — — | D . . . | 26,0 | 41,0 | 58,0 |
| — — | E . . . | 23,5 | 36,0 | 53,5 |
| — — | D und E | 7,3 | 18,0 | 32,1 |

Die geringe Abweichung des ersten und des vierten Werthes von einander ist offenbar der Ansicht nicht günstig, dafs der Rufs blofs durch seinen Einflufs auf die Oberfläche des Steinsalzes wirken sollte, denn alsdann könnte die doppelte Dicke der Schicht unmöglich eine gleiche Wirkung äufsern, als zwei Schichten von einfacher Dicke. Inzwischen bleibt es unverkennbar merkwürdig, dafs die blofse Rauheit der Oberfläche sich auf gleiche Weise wirksam zeigt, als das Ueberziehn derselben mit Rufs, indem noch aufserdem beide die durch sie gedrungenen Wärmestrahlen so disponiren, dafs sie dann durch einen zweiten diathermanen Körper in gröfserer Menge dringen. So liefs unter andern die genannte berufste Steinsalzplatte E folgende Strahlen von 100 durchfallen, nachdem diese vorher

durch den Schirm H von gesplittertem Glimmer, durch die Platte D berufsten und die Platte a rauh gemachten Steinsalzes gedrungen waren.

| Wärmequellen. | Wärmeprocente durch E dringend nach dem Durchgange durch nichts | H | D | a |
|---|---|---|---|---|
| Lampe mit Glas . . . . | 23,5 | . . . | 28 | 29,0 |
| Lampe ohne Glas . . . | 36,0 | 43,5 | 44 | 40,4 |
| dunkelheifses Kupfer . . | 53,5 | 56,0 | 56 | 55,0 |

Die erhaltenen Gröfsen zeigen, dafs die Strahlen aus nicht leuchtenden Quellen in Folge ihres Durchganges durch die berufste Steinsalzplatte ähnliche Schirme leichter zu durchdringen vermögen. Hinsichtlich der *Zurückwerfung* der Wärmestrahlen, vorzüglich bei gröfseren Einfallswinkeln, zeigten die rauhen Flächen ein gleiches Verhalten, wie aus dem hier folgenden Verhältnifs der von einer polirten und einer rauh gemachten Fläche Flintglas reflectirten Wärmestrahlen hervorgeht.

| Einfalls-winkel | Lampe mit Glas | Lampe ohne Glas | dunkelheifses Kupfer |
|---|---|---|---|
| 60° . . . | . . . . . | 100:34,0 | 100:35,4 |
| 70 . . . | 100:26,5 | 100:38,3 | 100:43,5 |

Auch hier zeigt sich also, dafs die hindernde Kraft der rauhen Flächen mit der Brechbarkeit der Wärmestrahlen abnimmt. Auf die durchgehenden Lichtstrahlen hat die Berufsung einen gleichen Einflufs, denn durch geschwärztes Glas erhält man ein rothes Bild der Sonne[1].

Soll der *Einflufs nicht polirter* oder *ungleich stark polirter Oberflächen* auf die Durchlassung verschiedenartiger Wärmestrahlen genauer erörtert werden, so kommt dabei zuerst die

1 Forbes meint, die Reflexion des Lichtes zeige sich auf gleiche Weise, als die der Wärme; ob dasselbe auch für durchgehende Lichtstrahlen gelte, sey noch nicht deutlich beobachtet worden. Allein das Durchdringen der rothen Strahlen durch eine geschwärzte Glasscheibe ist allbekannte Thatsache, und hierdurch scheint die aufgeworfene Frage Beantwortung zu finden.

Frage in Betrachtung, ob das Steinsalz auch mit Sicherheit als für alle Wärmearten gleich diatherman betrachtet werden könne, ohne seine jedesmalige gröfsere oder geringere Politur, mit Ausschlufs eigentlicher Rauheit, zu berücksichtigen. Forbes glaubt diese Frage unbedenklich bejahen zu dürfen, denn zwei nicht eben mit grofser Sorgfalt polirte Steinsalzplatten liefsen von einer gemeinen (Locatelli'schen) Lampe mit Glasschirm 72 und vom berufsten heifsen Kupfer 73 Procent Wärme durch, als aber eine andere, auf der polirten Fläche durch langes Liegen matt gewordene, dann absichtlich rauh gemachte Platte genommen wurde, fielen von der ersten Quelle 66, von der zweiten 77 Procent Wärme durch. Auch bei andern Körpern wird die Diathermansie durch die Rauheit der Oberfläche abgeändert, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dafs diese schon eine specifische Wirkung auf verschiedene Wärmestrahlen ausüben, die beim Steinsalz wegfällt. Als ein Beispiel führt Forbes folgendes an. Ein dünnes Glimmerblättchen mit natürlich glänzender Oberfläche liefs bei Anwendung einer Locatelli'schen Lampe mit Glas, einer solchen ohne Glas und des 400° C. heifsen Kupfers von 100 Strahlen 83,5; 74; 37, nach dem Reiben beider Flächen mit Schmirgelpapier aber 45,5; 51; 31,5 durchfallen, also wurde die Menge der vorher durchfallenden Strahlen in Folge der Rauheit vermindert um 54; 69; 85 Procent.

357) Um endlich auszumitteln, wie sich eine verhältnifsmäfsig kleine Anzahl von Furchen zu einer allgemeinen Rauheit der Oberfläche verhalte, wurden auf einer gut polirten Steinsalzplatte mit einer Diamantspitze feine Linien gezogen, so dafs sie Quadrate von 0,01 Lin. Seite bildeten, auf einer zweiten Linien von 0,005 Lin. Abstand und auf einer dritten Quadrate von 0,005 Lin. Seite. Nennen wir diese A, B, C, so liefsen sie von 100 Wärmestrahlen aus zwei verschiedenen Quellen folgende durch:

| | Durchgelassene Strahlen | | |
|---|---|---|---|
| Wärmequellen. | A | B | C |
| Locatelli-Lampe mit Glas | 76,5 | 61,5 | 45,0 |
| dunkelheifses Kupfer . . | 82,3 | 68,5 | 64,5 |

Von siedend heifsem Wasser drangen verhältnifsmäfsig noch

mehr Strahlen durch, das Resultat im Ganzen führte aber zu der Betrachtung, ob nicht, wie beim Lichte, ein bloſses *Gitter*, statt der gefurchten Fläche, die gleiche Wirkung hervorzubringen vermöge. Gewöhnliche feine Drahtgeflechte zeigten sich nicht gut anwendbar, als aber auch die aus Paris erhaltenen feinsten, etwa 160 Drähte auf den Zoll gebenden, angewandt wurden, zeigte sich erstlich die Menge der hierdurch aufgefangenen Wärme unabhängig von der Art der Wärmequelle, und zweitens in demjenigen Verhältniſs abnehmend, als der Flächeninhalt der Drähte zu dem der Zwischenräume gröſser wurde. Letztere Gröſsen genau zu ermitteln ist übrigens sehr schwierig, und im Allgemeinen wird der Flächeninhalt der Drähte zu gering gefunden, wenn man ihn nach der Menge und Dicke der Drähte berechnet. Die Ursache hiervon liegt darin, daſs die Zwischenräume nicht genaue Quadrate bilden, wie Adie durch scharfe mikrometrische Messungen direct auffand, und auſserdem sind die Drähte an den Stellen, wo sie sich gegenseitig berühren, etwas platt gedrückt. Eine den *Metallgittern* gleiche Wirkung erzeugten solche, die aus feinen parallelen Baumwollenfäden bestanden, wenn diese einzeln oder in der Art paarweise angewandt wurden, daſs sie über einander gelegt regelmäſsige Quadrate bildeten. Um die zunächst sich hier anschlieſsende Frage zu beantworten, ob die Körper in feinster Pulverform bloſs mechanisch auf die durchgehenden Wärmestrahlen wirken, suchte Forbes zuerst auszumitteln, ob die Metalle in der That so undurchdringlich für Wärmestrahlen sind, als man voraussetzt, und der Versuch bestätigte dieses vollkommen, denn durch ein als Schirm eingebrachtes Blattgoldblättchen, dessen Dicke etwa 0,000003 Zoll betragen mag, drang auch nicht so viel Wärme, um die Nadel des Thermomultiplicators nur im mindesten abzulenken. Sehr schwierig war es aber, Metalle in Pulverform von der erforderlichen Feinheit zu erhalten, welches aufgestreuet dann ein Metallgeflecht von gröſster Unregelmäſsigkeit der Zwischenräume darstellen muſste. Inzwischen verschaffte sich Forbes dieselben, wie sie namentlich die falsche Bronze enthält, alle unfühlbar fein, mit Ausnahme des Zinns, streuete sie auf Steinsalzplatten oder brachte sie zwischen zwei solche ohne weiteres Bindemittel, welches durch seine eigene Einwirkung die Resultate verfälschen konnte. Die Ergebnisse der Versuche mit

verschiedenartigen Pulvern und ungleichen Wärmequellen, indem zugleich bei der Anwendung der gemeinen (Locatelli'schen) Lampe die angegebenen Schirme eingeschaltet waren, zeigt folgende Tabelle, worin die Zahlen die Procente der durchgelassenen Wärmemengen angeben.

| Pulver | Lampe ohne Schirm | | Berufs-tes Stein-salz | Heifses Ku-pfer | Heifses Was-ser |
|---|---|---|---|---|---|
| | Glas | | | | |
| Gold, erste Versuchsreihe | 58,0 | . . . | 50,5 | . . . | . . . |
| zweite . . . . . . | 7,4 | . . . | . . . | 4,1 | . . . |
| Silber . . . . . . . . . . | 25,3 | 24,2 | . . . | 21,8 | . . . |
| Silber, erste Reihe . . . | 27,7 | . . . | 18,5 | . . . | . . . |
| zweite Reihe . . | 29,5 | . . . | 22,1 | . . . | 25 |
| Kupfer, erste Reihe . . | 14,8 | . . . | 16,0 | . . . | . . . |
| zweite Reihe . . | 17,4 | . . . | . . . | 18,7 | 17 |
| Kupfer . . . . . . . . . | 5,6 | . . . | . . . | 4,05 | . . . |
| Zinn . . . . . . . . . . | 27,0 | 26,0 | . . . | 25,5 | . . . |

Die Versuche wurden zwar mit gröfster Sorgfalt angestellt, aber Forbes bemerkt selbst, dafs sie die sich ergebenden paradoxen Resultate unwidersprechlich zu begründen vielleicht nicht genügen; auf jeden Fall lassen sich dieselben nicht erklären. Hiernach müfste nämlich Gold, Silber und Zinn[1] von leuchtender Wärme mehr als von dunkler durchlassen, Kupfer dagegen in einer Reihe sich auf gleiche, in zwei andern aber auf entgegengesetzte Weise verhalten, und gerade diesen eigenthümlichen Charakter des Kupfers glaubt Forbes mit Sicherheit ermittelt zu haben.

Weil hiernach der Schlufs, dafs die Wirkung des Berufsens der Flächen auf die durchfallenden Wärmestrahlen blofs von der Pulverform herrühre, wankend wurde, andere Erscheinungen aber andeuteten, dafs die meisten diathermanen Körper in Pulverform gleich atherman waren oder wohl richtiger keine eigentliche Diathermansie zeigten, indem eine mit Alaun- oder Citronensäurepulver bestreute Fläche fast ebenso viel Wärme durchzulassen schien, als eine mit Steinsalzpulver bestreute, wonach also, wie beim Lichte, die Adiathermanie

1 Beim Zinn ist der Unterschied unbedeutend und konnte wohl Folge von Beobachtungsfehlern seyn.

eine Folge zahlloser Zerstreuungen und Interferenzen der Wärmestrahlen seyn müfste, so war es um so nothwendiger, dieses Problem noch weiter zu verfolgen. Letzteres wurde besonders durch folgenden Versuch bestätigt. Forbes verfertigte sich ein unregelmäfsiges Netz aus feinen *Glasfäden*, liefs dann die Wärmestrahlen einer Locatelli'schen Lampe durch eine dicke Glasplatte, von dieser aber durch das Glasnetz fallen, und fand durch letzteres einen Wärmeverlust von 52,5 Procent erzeugt, obgleich nach den Versuchen von de la Roche und Melloni die bereits durch Glas gedrungenen Strahlen beim abermaligen Durchfallen durch Glas nur unmerklichen Verlust erleiden[1]. Da es zu viele Zeit erfordert haben würde, diese Aufgabe in ihren einzelnen Theilen weiter zu verfolgen, so entschlofs sich Forbes zuerst, den Durchgang der von verschiedenen Wärmequellen ausgehenden Strahlen durch Pulver anderer, nicht metallischer oder wenigstens nicht regulinisch metallischer, ungleicher Körper durch vorläufige, wenn auch nicht definitiv entscheidende Versuche auszumitteln. Die folgende Tabelle enthält in Procenten die Menge der durchgelassenen Strahlen, wobei die Pulver allezeit aufgestreut, zwischen zwei Steinsalzplatten eingeschlossen, diese aber an den Rändern verklebt und auf Diaphragmen von Karten befestigt waren. Bei der Anwendung der Lampe ohne Glasschornstein (Locatelli'sche) waren, wie oben, die in der Tabelle genannten Schirme eingeschaltet. Uebrigens wurden, so wie auch oben, zu den verschiedenen Versuchsreihen nicht dieselben, sondern andere mit Pulver bestreute Platten verwandt, so dafs die Resultate nicht mit einander, sondern blofs unter sich vergleichbar sind.

1) Forbes erwähnt, dafs Wärmestrahlen von heifsem Kupfer und heifsem Wasser *unter denselben Umständen* nur 56 und 58 Procent verloren hätten, da doch eine dünne Glasplatte diese Strahlen fast gar nicht durchlasse. Allein hierbei konnten die Umstände nicht ganz gleich seyn, denn sonst hätte die Glastafel eingeschaltet seyn müssen, durch welche aber diese Strahlen gar nicht oder in wahrscheinlich unmefsbar geringer Menge dringen konnten.

| Pulver | Gemeine Lampe Glas | | Berufstes Steinsalz | Dunkles Kupfer | Heifses Wasser |
|---|---|---|---|---|---|
| Alaun, erste Reihe . . | 17,0 | . . . | . . . | 17,1 | . . . |
| zweite Reihe . . | 15,2 | . . . | . . . | 13,0 | . . . |
| Citronens., erste Reihe | 29,0 | . . . | 30,0 | 33,0 | 31,5 |
| zweite Reihe | 12,9 | . . . | . . . | 8,7 | . . . |
| Steinsalz, erste Reihe | 12,8 | 13,4 | 11,8 | 11,3 | . . . |
| zweite Reihe | 31,5 | . . . | . . . | 29,2 | . . . |
| Schwefel . . . . . . . . | 50,0 | . . . | . . . | 44,7 | . . . |
| Mennig . . . . . . . . . | 30,2 | . . . | . . . | 34,0 | . . . |
| Bleiglanz . . . . . . . . | 26,3 | . . . | 22,4 | . . . | . . . |
| Holzkohle . . . . . . . | 5,0 | . . . | . . . | 9,0 | . . . |
| — erste Reihe . . | 11,4 | . . . | 13,9 | . . . | . . . |
| — zweite Reihe | 15,1 | . . . | . . . | 16,0 | 17,0 |
| — dritte Reihe . | 3,2 | . . . | . . . | 3,5 | . . . |
| Kalk, erste Reihe . . . | 30,5 | . . . | . . . | 34,5 | . . . |
| — zweite Reihe . . . | 15,5 | 15,6 | 18,4 | 17,9 | . . . |
| — dritte Reihe . . . | 27,5 | . . . | . . . | 32,0 | . . . |
| kohlensaure Magnesia . | 8,3 | . . . | 12,6 | . . . | . . . |

Ohne die Folgerungen aufzusuchen, die sich aus diesen gefundenen Gröfsen entnehmen lassen, verdienen vorzugsweise noch die Procente der aus verschiedenen Quellen strahlenden Wärme, die durch nachfolgende Substanzen durchgelassen wurden, nicht unbeachtet zu bleiben.

| Substanzen | Wärmequellen Lampe ohne Schirm | Kupfer | Heifses Wasser |
|---|---|---|---|
| Goldschlägerhaut . . . | 60,0 | 28,0 | . . . |
| Cambrick-Papier . . . | 8,6 | 10,5 | . . . |
| Strohpapier . . . . . . | 36,0 | 28,0 | . . . |
| gesponnenes Glas . . . | 47,5 | 44,0 | 42 |
| Steinsalz, berufst . . . | 30,2 | 58,0 | 67 |
| rauh gemacht | 49,0 | 73,0 | 76 |
| polirt und gefurcht | 49,5 | 73,0 | 77 |

Forbes stellt die wichtigsten, aus den hier mitgetheilten Versuchsreihen erhaltenen Resultate zur leichteren Uebersicht zusammen. Hiernach findet man die Eigenschaft, die sogenannte *dunkle Wärme leichter durchzulassen* (dem Durchgange

des rothen Lichtes vergleichbar), 1) beim Holzkohlenpulver; 2) bei einigen erdigen Pulvern; 3) bei einfach unpolirten Flächen; 4) bei unregelmäſsig mit Schmirgelpapier geritzten Flächen; 5) bei polirten und dann fein gefurchten Flächen; 6) bei aufgeblättertem Glimmer. *Indifferent gegen die Art der durchgehenden Wärme* scheinen zu seyn: 1) Blattgold, als undurchdringlich für jede Art Wärme; 2) Metallnetze; 3) Fadennetze; 4) die meisten krystallisirten Körper in Pulverform, die fast ganz adiatherman sind. Sogenannte *leuchtende Wärme stärker durchlassend* (dem Durchgange des violetten Lichtes vergleichbar) sind: 1) einige Metallpulver; 2) gepulvertes Steinsalz und einige sonstige Pulver; 3) thierische Membranen. Beachtenswerth ist hierbei, daſs sogenannte dunkle Wärme von unvollkommen polirten Flächen am regelmäſsigsten reflectirt und auch durchgelassen wird. Im Ganzen sprechen alle diese Thatsachen für die Annahme von Wärmewellen und zugleich dafür, daſs diese um so kürzer sind, je mehr sie vom Leuchten zur Dunkelheit übergehn. Zugleich aber hält Forbes die Wärmewellen für bedeutend verschieden von den Lichtwellen, ohne daſs es jedoch bis jetzt möglich ist, über einen so dunklen und vielfach verwickelten Gegenstand etwas bestimmt festzusetzen.

358) So wie Forbes, hat auch Melloni zu seinen ausführlichen Untersuchungen noch einige kürzere Nachträge geliefert, welche theils Bestätigungen der früher gefundenen Resultate, theils Folgerungen enthalten, die sich aus ihnen ableiten lassen. Melloni und Biot[1] brachten in die polarisirten Wärmestrahlen zwischen die polarisirenden Glimmersäulen eine 7,5 Millim. dicke, senkrecht gegen die Axe der Doppelbrechung geschnittene Bergkrystallplatte, welche die Polarisationsebene beim Lichte rechts vom Beobachter drehte, und fanden, daſs sie auf die Wärmestrahlen einen gleichen Einfluſs ausübte. Als sie über dieselbe noch eine zweite, gleich dicke Platte brachten, welche die Polarisationsebene beim Lichte links vom Beobachter drehte, zeigte sie eine gleiche Einwirkung auf die Wärmestrahlen, und beide Platten vereint hoben ihre entgegengesetzten Wirkungen auf, wenn ihre Axen genau zusammenfielen.

---

1 Aus Compte rendu Nr. 8. p. 194 in Poggendorff's Ann. XXXVIII. 202.

359) Bei den hier in einer möglichst kurzen Uebersicht mitgetheilten Untersuchungen über die Wärmestrahlung fällt im höchsten Grade die Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Lichtes und der Wärme auf, und man wird unwillkürlich veranlaſst, beide Potenzen mit einander zu vergleichen. Wollte man sich erlauben, aus dem oberflächlichen Anblicke der Thatsachen Folgerungen abzuleiten, so könnte man Licht und Wärme für identisch halten, allein es sind bereits oben (§. 77 ff.) bedeutende Gründe gegen diese Hypothese vorgebracht worden, welche aus den früher bekannten Erfahrungen hervorgehn, und es ist hier der geeignete Ort, diese Frage noch einmal zu erörtern. Wir dürfen annehmen, daſs die beiden Gelehrten, Melloni und Forbes, welche am tiefsten in die Untersuchung der Erscheinungen, wobei sich die Wärme dem Lichte am ähnlichsten zeigt, eingedrungen sind, die Frage über das Verhältniſs beider Potenzen gegen einander am reiflichsten und gründlichsten erwogen haben, und sie sind daher ohne Zweifel die competentesten Richter in dieser Sache. Melloni, obgleich der eifrigste Theilnehmer an dem gröſsten Theile seiner Versuche, Biot, sich früher für die Identität beider Wesen oder vielmehr für eine Verwandlung des Lichts in Wärme ausgesprochen hatte und jener daher geneigt seyn muſste, den Ansichten des Letzteren beizutreten, äuſsert sich dennoch sehr entschieden hiergegen. Um aber den eigentlichen Fragepunct genauer festzustellen, muſs in voraus zugestanden werden, daſs die zuletzt erörterten Erscheinungen nicht füglich anders als aus Undulationen erklärt werden können, und da die Undulationstheorie allein die Phänomene des Lichts consequent darzustellen vermag, so folgt hieraus schon unmittelbar, daſs die Grundlage beider Theorieen, der des Lichts und der Wärme, dem Wesen nach identisch seyn muſs. Allein auch die Phänomene des Schalles beruhn auf Vibrationen, und es wird dennoch niemand bei einiger Kenntniſs der Sache und genügender Fähigkeit des Nachdenkens zu der Folgerung zu vermögen seyn, Schall und Licht in Beziehung auf das beiden zum Grunde liegende materielle Princip für identisch zu halten. Die Schallwellen werden in allen wägbaren Körpern nach wenig durch deren eigenthümliche Beschaffenheit modificirten Gesetzen erzeugt und fortgepflanzt, und hören beim Mangel vorhandener wägbarer Materie von selbst auf; zur Erklärung der Lichtphä-

nomene wird das Vorhandenseyn eines eigenthümlichen, überall verbreiteten Lichtäthers angenommen, und so erfordern die Wärmephänomene, der Analogie nach, gleichfalls das Vorhandenseyn irgend eines materiellen Substrates, weil ohne ein solches der Begriff von Undulationen von selbst wegfallen mufs. Hiernach ist also die eigentliche Frage die, ob nicht blofs die Undulationen, auf welche wir einen grofsen Theil der Wärmephänomene zurückführen, sondern auch diejenige Wärme, welche auf eine anderweitige, sehr heterogene Weise sich verhält, auf eigenthümliche Vibrationen der gewöhnlichen materiellen Stoffe zurückzuführen sind, oder auf eine eigenthümliche Grundlage, einen Wärmestoff, und ob im letzteren Falle diese Basis mit dem Lichtäther identisch oder von eigenthümlicher Beschaffenheit ist.

360) Schon oben ist mehrmals erwähnt worden, dafs Melloni die Existenz eigenthümlich verschiedener Wärmestrahlen annimmt, die er *farbige* nennt, weil sie auf ähnliche Weise, als farbige Lichtstrahlen, von gewissen Körpern leicht durchgelassen werden, welche andere Wärmestrahlen nicht durchlassen, worauf eben die von ihm sogenannte *Diathermansie* beruht. Die schon hieraus hervorgehende Aehnlichkeit zwischen Licht und Wärme zeigt sich auch anderweitig, und Melloni[1] sagt daher am Ende seiner Hauptabhandlung: „aus „der Gesammtheit der Thatsachen über die strahlende Wärme „ersieht man, dafs dieses Wesen ganz wie das Licht fortge- „pflanzt, zurückgeworfen, gebrochen und polarisirt wird, und „wenn diese Eigenschaften häufig unbemerkt bleiben, so mufs man dieses einem Mangel von Diathermanie bei den meisten „Körpern zuschreiben, oder der ganz besondern Weise, in „welcher ihre Absorption sich auf die Wärmestrahlen äufsert.“ Einige Körper, als Luft und Steinsalz, lassen sowohl die Lichtstrahlen, als auch die Wärmestrahlen frei durch, andere absorbiren die Lichtstrahlen vollständig, z. B. schwarzes Glas, lassen aber gewisse Wärmestrahlen frei durch, noch andere sind für das Licht völlig durchgängig, fangen aber alle Wärmestrahlen vollständig auf. Das nämliche Verhalten zeigt sich hinsichtlich der Reflexion. Völlig weifse Substanzen reflectiren oder absorbiren, je nach ihrer eigenthümlichen Beschaffen-

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 283.

heit, aufserordentlich verschiedene Portionen von Wärme, absorbiren aber alle Arten Lichtstrahlen auf gleiche Weise; denn sonst würde sich bei ihnen Färbung zeigen, welche nothwendig zum Vorschein kommen müfste, wenn einige Farbenstrahlen mehr als andere reflectirt oder absorbirt würden. Aehnliche Unterschiede zeigen sich bei den Polarisationsphänomenen; der wesentlichste Punct aber, welchen Melloni mit Recht hervorgehoben hat, ist folgender. Alle Körper werden durch strahlende Wärme heifs, behalten die erhaltene Wärme noch eine Zeit lang nach gänzlicher Entfernung der Quelle, und geben sie nur durch Strahlung oder Mittheilung an umgebende Körper wieder ab, bei den meisten Körpern aber verschwindet das absorbirte Licht augenblicklich und nur wenige halten es so zurück, dafs sie nachher im Dunkeln leuchten[1]. Endlich aber verändern die absorbirten Wärmestrahlen gänzlich ihre Natur. Statt einer unmefsbar schnellen Bewegung werden sie festgehalten, strahlen gröfstentheils nicht mehr, pflanzen sich unmerklich langsam nach allen Richtungen in den Körpern fort und gehen zu andern berührenden Körpern über. So lange also die Strahlen beider Wesen sich frei bewegen, zeigen sie sich gleich in ihrem Verhalten, sie zeigen sich aber augenblicklich höchst verschieden, sobald der Gang ihrer Strahlung irgend eine Hemmung erfährt, sey es an der Oberfläche oder im Innern der Körper.

361) Wie sich aus dem Gesagten ergiebt, stellt Melloni die Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten beider Wesen, des

---

1 Melloni hat hierbei die *Phosphoren* durch Insolation im Auge, allein bei diesen kann man nicht sagen, dafs sie das aufgenommene Licht wieder abgeben, zumal da das nachher ausstrahlende phosphorische Licht oft von einer andern Färbung, als das aufgenommene ist; vielmehr gilt das Phosphoresciren für eine Folge eingeleiteter chemischer Veränderung, und hiernach mufs dieser wesentliche Unterschied für einen absoluten gelten, sofern die absorbirten Wärmestrahlen festgehalten, die absorbirten Lichtstrahlen aber sofort gänzlich vertilgt werden. Vergl. Art. *Licht*. Bd. VI. S. 250. Aber auch angenommen, das Phosphoresciren bestehe in einem Wiedergeben des aufgenommenen Lichtes, so bleibt doch der Unterschied höchst auffallend und die Verschiedenheit unverkennbar wesentlich, insofern die Wärmestrahlen in gleichem quantitativen Verhältnisse von allen Körpern aufgenommen und wiedergegeben werden, die Lichtstrahlen aber gänzlich verschwinden oder nur von einigen Körpern in sehr geringer Menge wieder ausströmen.

Lichts und der Wärme, zusammen, ohne nur zu versuchen, durch eine angemessene Hypothese die eben aus dem Gegensatze dieser Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten hervorgehenden Schwierigkeiten zu beseitigen; denn sie würden nicht statt finden, wenn die Phänomene der Wärme von denen des Lichts ebenso verschieden wären, als die des Schalles, und sie würden von selbst wegfallen, wenn gar keine Verschiedenheit statt fände. Nach beiläufigen Aeuſserungen ist Melloni nicht abgeneigt, einer von Ampère[1] zur Erklärung aufgestellten Hypothese beizupflichten, und bei einer Gelegenheit spricht er dieses bestimmt aus[2]. Hiernach besteht die strahlende Wärme aus Wellen, welche bei dunklen Quellen länger als die Lichtwellen sind, aber bei Quellen, die zugleich wärmend und leuchtend wirken, giebt es immer eine Gruppe von Wellen, die gleichzeitig beide Eigenschaften des Leuchtens und Wärmens besitzen. Hiernach fiele der wesentliche Unterschied zwischen strahlender Wärme und Licht weg; eine groſse Menge Aetherwellen würden auf unsern Körper fallend das Gefühl der Wärme erregen, eine geringere Anzahl derselben aber die Eigenschaft besitzen, die Retina des Auges in eine gewisse schwingende Bewegung zu setzen, um das Sehen zu erzeugen. Nun ist aber bekannt, daſs die Wärmestrahlen einer dunklen Wärmequelle nicht durch Wasser dringen; der Durchgang derselben fängt erst allmälig an, wenn die Wärmequelle leuchtend wird, und ist auch dann immer nicht bedeutend, weil das Wasser zu den wenig diathermanen Körpern gehört; wir dürfen daher nach Ampère annehmen, daſs die aus einer leuchtenden Wärmequelle ausgehenden Wärmestrahlen durch die Feuchtigkeiten des Auges absorbirt werden und daſs bloſs oder fast allein die leuchtenden zur Netzhaut des Auges gelangen.

362) Die Idee, von der ungleichen Diathermanie diaphaner Körper eine Anwendung auf die Absonderung der Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen leuchtender Wärmequellen durch die Flüssigkeiten des Auges zu machen, ist zwar höchst sinnreich, allein man darf sich dennoch nicht verleiten lassen anzunehmen,

---

1 Biblioth. univ. T. XLVIII. p. 225. Poggendorff's Ann. XXVI. 161. Ann. de Chim. et Phys. 1835. Avril.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LX. p. 402 u. 418. Poggendorff's Ann. XXXVII. 486.

dafs hierdurch eine nur irgend genügende Erklärung der Sache gegeben sey[1]. Für gleich darf man die Wärmewellen und Lichtwellen schon deswegen nicht annehmen, weil eben in dem gegebenen Falle die ersteren absorbirt, die letzteren aber durchgelassen werden. Wir können aber, wenn wir uns auch blofs auf die Verschiedenheiten in den Erscheinungen der Strahlung beschränken, den Unterschied nicht füglich anders erklären, als wenn wir neben einem eigenthümlichen Lichtäther auch einen *eigenthümlichen Wärmeäther* annehmen, und ist dieses einmal zugestanden, dann verlieren die Unterschiede der Strahlungen beider ihr Auffallendes und folgen nothwendig aus der Annahme. Melloni theilt diese Ansicht vollkommen, und obgleich er zugesteht, dafs mehrere Erscheinungen sich auf eine Identität beider zurückführen lassen, so giebt es doch andere, bei denen dieses unmöglich ist. Hierher gehört nach ihm die bereits (§. 71.) erwähnte Verrückung des Maximums der Wärme im Lichtspectrum. Ist letzteres durch ein Steinsalzprisma gebildet, so liegt das Maximum der Wärme über die rothen Strahlen hinaus, eine zwischengebrachte Wasserschicht rückt dasselbe aber desto weiter nach den brechbarern Lichtstrahlen, je dicker sie ist; eine 4 Millim. dicke bringt es in die rothe Zone und eine 300 Millim. dicke sogar in die grüne. Eine Glasplatte leistet in geringerem Grade dasselbe, in beiden Fällen aber bleiben die Verhältnisse der Intensität des Lichts in den einzelnen Theilen des Spectrums wegen vollkommener Diaphanie der eingeschalteten Körper unverändert. Bringt man statt dessen diaphane gefärbte Körper der verschiedensten Art dazwischen, so verschwinden gewisse farbige Lichtstrahlen gänzlich, die Wärmestrahlen werden ungleich geschwächt, aber das Maximum der Wärme und die einzelnen Zonen zu beiden Seiten desselben

1 Die angegebene Hypothese führt zu einer andern, die eine bis jetzt unerklärte Thatsache, das Nichtsehen gewisser Farben, wo nicht zu erklären, doch an analoge Erscheinungen zu knüpfen vermöchte. Wollte man nämlich annehmen, dafs gewisse Flüssigkeiten ohne Färbung für gewisse Lichtstrahlen diaphan, für andere adiaphan wären, so würde aus dieser Eigenschaft, die das Licht mit der Wärme gemein hätte, die bekannte *Achrupsie* abzuleiten sein. Vergl. Art. *Sehen*. Bd. VIII. S. 763. Versuche zur Bestätigung oder Widerlegung dieser Hypothese liefsen sich leicht anstellen, es sind mir aber keine solche bekannt, und höchst wahrscheinlich findet die Sache selbst nicht statt.

behalten dieselbe Lage, als wenn die nämlichen, von den Sonnenstrahlen durchdrungenen Körper ungefärbt sind. Hieraus folgt also, dafs Licht und strahlende Wärme ihre unmittelbare Entstehung zwei verschiedenen Ursachen verdanken, ohne damit jedoch die Undulationstheorie bei dem einen oder dem andern auszuschliefsen. Hiernach wird es dann auch möglich seyn, Licht und Wärme vollkommen zu trennen. Die einzigen Substanzen aber, womit dieses möglich war, sind Wasser und eine gewisse Art mit Kupfer gefärbtes grünes Glas. Das reine Licht, welches durch letzteres durchgelassen wird und viel Gelb besitzt, aber dennoch eine blaugrüne Farbe hat, wirkt nicht erwärmend auf die empfindlichsten Thermoskope, selbst wenn man dasselbe durch eine Linse so concentrirt, dafs es gleichen Glanz, wie das Sonnenlicht, zeigt.

363) Kommen wir noch einmal auf Ampère's Hypothese (§. 16) zurück, so findet dieser allerdings die *langsame Wärmeleitung* in den verschiedenartigen Körpern mit der Hypothese, dafs auch diese durch Undulationen geschehen solle, nicht wohl vereinbar, sucht diese Schwierigkeit aber dadurch zu beseitigen, dafs er annimmt, es seyen hierbei blofs die Atome thätig, woraus nach seiner Ansicht die Molecüle der Körper bestehen; allein theils ist es eine blofse, durch keine entscheidenden Gründe unterstützte Hypothese, wonach die bis jetzt als einfach betrachteten Molecüle aus Atomen zusammengesetzt seyn sollen, anderntheils ist es noch mehr rein hypothetisch, dafs die Wärmewellen blofs durch die Atome fortgepflanzt werden sollen, und findet noch obendrein auch darin, dafs alle Wellenbewegungen eine grofse Geschwindigkeit haben und eine desto gröfsere, je feiner und compacter die sie fortpflanzenden Medien sind, ein bedeutendes Hindernifs, ein ganz unübersteigliches aber in dem Umstande, dafs nicht die Atome, sondern die Molecüle durch die in ihnen strömende Wärme mehr von einander entfernt werden.

364) Forbes[1] scheint die eben mitgetheilten Aeufserungen Melloni's wenigstens theilweise mifsverstanden zu haben, als ob darin Argumente gegen die Undulationstheorie des Lichtes und der Wärme enthalten wären, da es sich doch blofs

---

1 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLVI. p. 246. Poggendorff's Ann. XXXVII. 501.

um einen bestehenden Unterschied zwischen beiden Wesen handelt. Das Hauptargument des französischen Physikers, welches aus der Thatsache hergenommen ist, dafs die Strahlen der Wärme und des Lichtes getrennt werden können, beweist nach seiner Ansicht nichts weiter, als dafs Licht nicht auch Wärme sei, was aber auch aus andern Erfahrungen noch besser hervorgehe. Aufserdem pafst nach Forbes dieser nämliche Einwand auch auf die verschiedenen Arten von Licht, denn z. B. rothes Glas ist undurchdringlich für die gelben Strahlen, läfst aber die rothen durch. Hiergegen bemerkt aber Poggendorff mit Recht, dafs dieses eine Folge der verschiedenen Brechbarkeit der ungleichfarbigen Lichtstrahlen sey, statt dafs Licht und Wärme ungleich absorbirt werden, obgleich ihre Brechbarkeit unverändert bleibt. Hält man vor oder hinter ein gegebenes Prisma eine farbige Substanz, so werden alle übrige Lichtstrahlen, aufser die gleichfarbigen, ganz oder theilweise verschluckt, allein das Brechungsverhältnifs aller durchfallenden, sowohl der gleichfarbigen, als auch der ungleichfarbigen, wird dadurch gar nicht geändert. Alle Lichtwellen, obgleich mehr oder weniger brechbar, können daher dem nämlichen Lichtäther zugehören, wenn aber die Wärmestrahlen, wie auch umgekehrt alle Lichtstrahlen, gänzlich verschwinden, während im erstern Falle alle oder die meisten Lichtstrahlen, im andern die Wärmestrahlen bleiben, ohne dafs in beiden Fällen die Brechungen eine Aenderung erleiden, so müssen sie verschiedenen, wenn auch einander ähnlichen, Aetherarten zugehören. Da die Interferenz der Wärmestrahlen noch nicht aufgefunden ist, so soll nach Forbes die Polarisation und Doppelbrechung die einzige Stütze der Hypothese seyn, wonach die Wärmestrahlen aus Undulationen, und zwar aus transversalen, bestehen, die ihrem Wesen nach identisch sind mit denen des Lichts. Poggendorff erinnert hiergegen, dafs die Interferenzen nicht für transversale Vibrationen entscheiden würden, da sie auch bei longitudinalen statt finden könnten. Die beiden genannten Erscheinungen begründen übrigens das Vorhandenseyn der Undulationen bei der Wärme ebenso, als beim Lichte; wie weit aber die Identität derselben auszudehnen sey, ist dadurch noch nicht ausgemacht. Soll sich dieselbe blofs auf die Form und die wesentliche Art des Verhaltens beziehn, so ist hiergegen nicht wohl etwas einzuwenden, wollte man sie aber auch auf das beiden zum Grunde lie-

gende materielle Substrat ausdehnen, so wäre dieses wohl zu viel gefolgert, denn der grofsen Uebereinstimmung zwischen den Schallwellen und Lichtwellen ungeachtet sind die Stoffe, worin beide erzeugt werden, sehr von einander verschieden.

365) Durch die in neuester Zeit so oft wiederholten, mit der gröfsten Sorgfalt und mit den feinsten Mefswerkzeugen angestellten Versuche sind wohl alle Physiker zu der Ueberzeugung gelangt, dafs die Wärmestrahlung auf Undulationen beruht, ähnlich denen, welche die Phänomene des Lichtes erzeugen. Hieran knüpft sich dann die Folgerung, dafs die Wärmewellen ebenso gut, als die Licht- und Schallwellen, *Interferenzen* erzeugen müssen, und hierauf bezieht sich auch die oben mitgetheilte Aeufserung von Forbes. Es liegt aber in der Natur der Sache, dafs es äufserst schwierig seyn mufs, die Interferenzlinien für die Wärmestrahlen aufzufinden, denn sie können nicht anders als sehr schmal seyn, und dann steht uns kaum ein thermoskopischer Apparat zu Gebote, welcher räumlich so feine Gröfsen zu messen im Stande seyn könnte, um so weniger, als sie wegen Mangels an festen theoretischen Bestimmungen blofs durch Probiren gesucht werden müfsten. Nicht blofs Forbes setzt daher als bekannt voraus, dafs sie bis jetzt noch nicht aufgefunden worden sind, sondern auch Melloni[1] bezweifelt zwar keineswegs ihre Existenz, glaubt aber zugleich, es sey noch keine einzige Thatsache vorhanden, aus welcher sich irgend ein directer oder indirecter Beweis ihres Aufgefundenseyns hernehmen lasse. Der Einzige, welcher wirkliche Interferenzen der Wärmestrahlen wahrgenommen zu haben versichert, ist Matteucci[2]. Dieser liefs die Strahlen einer glühenden eisernen Kugel durch zwei Oeffnungen in einer Platte fallen, welche nur 1 Millim. Durchmesser hatten und deren Mittelpuncte nur 2 Millim. von einander abstanden. Der Durchmesser der eisernen Kugel betrug 45 Millim. und ihr Abstand von der Platte 80 Millim. Auf der anderen Seite der Platte in einer Ebene mit den Löchern befand sich die Kugel eines empfindlichen Luftthermometers von 12 Millim. Durchmesser, deren beide Hälften versilbert waren, mit Ausnahme eines zwi-

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 282.

2 Annali delle Scienze cet. 1832. Apr. Biblioth. univ. T. L. p. 1. Poggendorff's Ann. XXVII. 462.

schen ihnen befindlichen schmalen geschwärzten Streifens von 1 Millim. Breite. Das Thermometer mit seinem Index aus roth gefärbter Schwefelsäure war in Achtel Reaumür'scher Grade getheilt, deren Hälfte sich genügend schätzen liefs. Nach der Stellung der geschwärzten Zone desselben, der Mitte beider Oeffnungen gegenüber oder wenig seitwärts gegen diese, nahm Matteucci Unterschiede wahr, die 1° R. betrugen, indem das Thermometer regelmäfsig zwischen $16\frac{1}{8}°$ und $17\frac{1}{8}°$ variirte. Arago bemerkte gegen diese Angabe, dafs die grofse Fläche der glühenden Kugel die Entstehung der Interferenzen schwerlich gestatte, auch begreift man in der That nicht, wie sie auf die angegebene Weise entstehen könnten, Matteucci will aber diesen Einwurf nicht gelten lassen und hat auch später die nämlichen Versuche wiederholt[1], wobei er sich jedoch eines durch den elektrischen Strom glühenden Platindrahtes bediente und gleiche Resultate erhielt. Es scheint, als liefsen sich die Wärmeinterferenzen leichter durch Reflexion erzeugen und auffinden, was ich jedoch selbst unter verschiedenen Modificationen vergebens zu erreichen gesucht habe, noch leichter aber dürften sie durch Refraction der Wärmestrahlen mittelst einer Steinsalzplatte zu erhalten seyn, nach Art der Glasplatten, welche die Interferenzen der Lichtstrahlen zeigen.

366) Es dürfte hier der Ort seyn, die oben §. 99 abgebrochenen Untersuchungen über das eigentliche Wesen der Wärme wieder aufzunehmen, denn wir haben so eben die gesammten Aeufserungen dieses räthselhaften Etwas, was wir Wärme nennen, mit genügender Ausführlichkeit zusammengestellt und möglichst unparteiisch geprüft; die noch zu erörternden Erscheinungen der specifischen und latenten Wärme sind ungleich einfacher und beweisen zunächst nur die Existenz eines materiellen Wärmestoffes, was wir in Gemäfsheit der bisherigen Untersuchungen ohnehin als bewiesen voraussetzen. Dürfen wir gleich nicht hoffen, zu einer eigentlich richtigen und genauen Kenntnifs des Wärmestoffes zu gelangen, so wird es uns doch möglich sein, dasjenige zusammenzustellen, was nach den bisherigen Erfahrungen für ausgemacht gelten kann, um dadurch der Kenntnifs des eigentlichen Wesens der Wärme mindestens etwas näher zu kommen.

---

1 Bibliothèque univ. T. LVII. p. 74. Poggendorff's Ann. XXXV. 558.

367) Nach den bisher gepflogenen Untersuchungen unterliegt es keinem Zweifel, daſs die Wärme, ihrer Bewegung in den Körpern und ihrer Anhäufung in denselben ungeachtet, auf eine ähnliche Weise sich strahlend zeigt, als das Licht. Die fruchtbaren Bemühungen von Melloni und Forbes, der sonstigen nicht zu gedenken, haben die Wissenschaft um einen bedeutenden Schritt weiter gebracht und verschiedene sichere Anhaltpuncte gegeben, woran wir unsere Betrachtungen knüpfen können. Die Wärme, mag sie von leuchtenden oder dunklen Körpern ausgehen, also von Lichtstrahlen begleitet seyn oder nicht, strahlt auf sehr ähnliche Weise, als das Licht; die Wärmestrahlen jeder Art werden gebrochen, reflectirt und polarisirt, es muſs ihnen daher ein ätherisches Fluidum, wie dem Lichte, zum Grunde liegen, und die Erscheinungen der Wärmestrahlung müssen auf gleichen oder ähnlichen Undulationen beruhen, als die der Lichtstrahlung. Zu diesem Schlusse berechtigt uns die in der Physik nicht bloſs erlaubte, sondern nothwendige Induction. Es lieſse sich hierauf also leicht eine Theorie gründen, wollten wir einen Wärmeäther annehmen, welcher in seiner freien Existenz durch die verschiedenen, bereits angegebenen Ursachen in Undulationen versetzt würde und dann die Erscheinungen der Strahlung gäbe, zugleich aber durch die wägbare Materie angezogen, gebunden, in seiner Bewegung aufgehalten würde, sich nach dem specifischen Leitungsvermögen in ungleichen Körpern geschwinder oder langsamer bewegte, nach ihrer specifischen Capacität in gröſserer oder geringerer Menge aufgehäuft und in dieser Anhäufung bis zum Verschwinden seiner Aeuſserungen gebunden würde; allein es stehen dieser Zurückführung der Wärmephänomene auf das Verhalten der sonstigen uns bekannten Materie bedeutende, zum Theil unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, die wir vorurtheilsfrei näher prüfen wollen. Diese Schwierigkeiten erwachsen hauptsächlich aus dem Umstande, daſs das Licht stets Wärme erzeugt, mithin Lichtstrahlen allezeit mit Wärmestrahlen verbunden sind, und daſs demnach sowohl die Brechung, als auch die Zurückstrahlung und Polarisation der Wärmestrahlen mit dem gleichen Verhalten der Lichtstrahlen eine sehr groſse, zur Gleichheit übergehende Aehnlichkeit haben. Es liegt daher zunächst die Frage zur Beantwortung vor, ob der Lichtstoff oder der Lichtäther mit dem Wärmestoff oder dem Wärme-

äther dem Wesen nach identisch sey oder nicht, und falls diese verneint werden müfste, eine zweite Frage, wie sich der Wärmeäther zum Lichtäther verhalte.

368) Die erste Frage ist bei weitem die leichteste. Die ruhende Wärme in den Körpern, insbesondere die latente, zeigt sich so sehr verschieden von dem durch Undulationen leuchtenden Lichtäther, dafs beide als identisch sich vorzustellen fast unmöglich ist. Ein Uebergang des Lichtes in Wärme vermittelst des Gebundenwerdens durch die gröbere Materie erscheint ohne Annahme einer Emission aus den leuchtenden Körpern als höchst unwahrscheinlich, letztere aber ist bereits aus andern Gründen verworfen; auch steht ihr das bedeutende Argument entgegen, dafs man sie nicht füglich mit dem seit Jahrtausenden bei der Sonne und bei den Fixsternen, wenn wir ihre ungeheure Entfernung berücksichtigen, stattfindenden unveränderten Leuchten zu vereinigen vermag. Ueberhaupt würden wir die schöne, in sich höchst consequente Theorie der optischen Erscheinungen aufgeben, wollten wir annehmen, dafs der überall verbreitete, sich selbst stets gleichbleibende Lichtäther in Wärme verwandelt würde, was mit den Phänomenen, die uns die diaphanen Körper darbieten, nicht wohl vereinbar ist und für die Wärmetheorie nicht den mindesten Vortheil bringt; denn warum sollen wir neben dem Lichtäther nicht auch ein ätherisches Wärmefluidum annehmen, so gut als wir ein elektrisches und ein magnetisches Fluidum anzunehmen gezwungen sind? Wahrlich, die Natur ist nicht so arm in ihren Productionen, als so viele Physiker sie so gern machen möchten. Selbst auch dann, wenn die Wärme, wie das Licht, strahlend ist, zeigen sich beide als wesentlich verschieden. Hauptsächlich gehört hierher die chemische Wirksamkeit des Lichtes, die in dieser eigenthümlichen Art den Wärmestrahlen nicht eigen ist, obgleich die Wärme, jedoch ohne die Bedingung des Strahlens, sich chemisch wirksam durch Beförderung vielfacher Verbindungen und Trennungen zeigt, ohne dafs die Lichtstrahlen als solche diese nämlichen Wirkungen zu äufsern vermögen. Melloni[1], welcher das Verhalten der Wärme unter so verschiedenen Modificationen genau untersucht hat, verwirft in Gemäfsheit unbestreitbarer Thatsachen durchaus die Verwand-

1 Poggendorff's Ann. XLIV. 160.

lung des Lichtes in Wärme, und wenn er sich geneigt zeigt, Ampère's (§. 16) Hypothese beizupflichten, so darf diese Aeufserung wohl vorzüglich nur als eine Anerkennung des Scharfsinnes jenes berühmten Gelehrten gelten, um so mehr, als es sich dabei blofs um eine Erklärung des langsamen Fortganges der Wärme in Körpern, verglichen mit der Schnelligkeit der Strahlung, handelt. Bei einer weiteren Ausführung dieses Problems gesteht Melloni [1] allerdings zu, dafs manche Thatsachen mit der Identität des Lichts und der Wärme zwar vereinbar sind, andere aber zeigen nach seiner Ansicht evident, dafs beiderlei Phänomene Wirkungen zweier verschiedener Ursachen seyn müssen. Sein Beweis gründet sich hauptsächlich darauf, dafs verschiedene Substanzen die leuchtenden Lichtstrahlen durchlassen, die erwärmenden aber absorbiren, bis zu einem solchen Grade, dafs z. B. wenn die Lichtstrahlen durch Wasser oder eine besondere Art mit Kupferoxyd gefärbtes Glas gehen, die Wärmestrahlen gänzlich absorbirt werden, indem dann selbst das durch eine Linse concentrirte Licht hell leuchtet, aber gar nicht erwärmt [2]. Hiernach mufs es, wie er meint, andere das Licht erzeugende Strahlen geben, als diejenigen sind, welche erwärmen, weil bei der Gleichheit beider mit dem stärksten Lichte auch die gröfste Erwärmung verbunden seyn müfste. Beide, sowohl die Lichtstrahlen als auch die Wärmestrahlen, lassen sich für sich und von einander getrennt darstellen und müssen daher verschiedenen Undulationen zugehören. Diese Folgerung erhält noch mehr Gewicht, wenn man berücksichtigt, dafs die stärksten Wärmestrahlen unter gegebenen Bedingungen aufserhalb des Farbenspectrums liegen, mithin da, wo es keine Lichtstrahlen mehr giebt. Nehmen wir alle diese Thatsachen zusammen, so werden wir zur Vermeidung aller sonst sich darbietender Schwierigkeiten lieber einen eigenen Wärmeäther annehmen, als eigenthümliche, unter vielfachen Bedingungen nicht leuchtende, blofs erwärmende Undulationen des Lichtäthers. Diese Hypothese hat auf den ersten Blick nichts wider sich, es ergeben sich aber der Schwierigkeiten gar viele und sehr bedeutende, sobald man versucht, die sämmtlichen, so sehr verschiedenen Wärmephänomene mit ihr in Einklang zu bringen.

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LIX. p. 418. Poggendorff's Ann. XXXVII. 486.

2 Vergl. oben §. 71.

369) Eine Menge dieser Schwierigkeiten fällt jedoch von selbst weg, wenn wir die Wärmephänomene mit Consequenz unter sich erklären und nicht verlangen, andere ihnen vollkommen gleiche in der Natur zu finden. Wir müssen dieses schon dann als nothwendig zugestehn, wenn wir einen Wärmestoff eigener Art annehmen, und dürfen es um so eher, da auch das elektrische Fluidum zwar Aehnlichkeit mit dem magnetischen hat, beide aber dennoch grofse Verschiedenheiten unter sich zeigen und zugleich auch von der Wärme und dem Lichte verschieden sind, obgleich allen ein gewisses ätherisches Fluidum zum Grunde liegt, sie sich einander wechselseitig erregen und in gewissen, auf Aehnlichkeit deutenden, Verhältnissen zu einander stehn [1]. Der hypothetische Wärmeäther kann in Undulationen versetzt werden und dadurch die bekannten Phänomene hervorbringen, zugleich aber kann er an die Materie gebunden werden, so dafs er sich anhäuft, wie dieses beim Lichte der Fall wahrscheinlich nicht ist, und zwar je nach der eigenthümlichen Beschaffenheit der verschiedenen Körper in ungleichem quantitativen Verhältnisse, unter Umständen bis zum Verschwinden seiner Aeufserungen, als latente Wärme. Berücksichtigen wir dann ferner, dafs sich die Wärme als durchaus repulsives Princip zeigt, so wird es nicht schwer, einen wesentlichen Unterschied zwischen dem Wärmestoff und dem Lichtäther aufzufinden. Letzterer ist durch das Universum verbreitet und seine Undulationen erzeugen die bekannten optischen Erscheinungen, der Wärmestoff aber, gleichfalls ein ätherisches Fluidum, wird in seiner Expansion durch die Anziehung gegen die wägbare Materie bedingt, mufs sich demnach in den Körpern anhäufen, diese aber wieder verlassen, hauptsächlich wenn die Anziehung ihrer ponderabeln Molecüle eine Aenderung erleidet, oder wenn er in gröfserer Menge darin vorhanden durch andere, minder gesättigte stärker angezogen wird; seine Bewegung hierbei ist eine langsam fortschreitende, wenn er von Molecül zu Molecül übergehen mufs, und eine strahlende, wellenartige, wenn diese Molecüle fehlen oder zu weit von einander abstehen. Der Wärmestoff zeigt diese seine wesentlichen Eigenschaften, die Expansion und Attraction, in keinem Phänomene

1 Das elektrische Fluidum scheint mir das gröbste unter diesen zu seyn nud dürfte somit den Uebergang von der expansibeln Fluidis zu den ätherischen bilden.

deutlicher, als bei der Verdampfung, wobei er die Flüssigkeiten verläfst, zugleich aber Theilchen derselben mit sich fortreifst.

370) Bis so weit ist die Hypothese, wonach die Erscheinungen der Wärme auf ein ätherisches Fluidum mit Repulsivkraft seiner Molecüle unter sich und Anziehungskraft gegen alle andere Körper zurückgeführt werden, nichts weiter, als eine Vereinigung unter sich und mit anderweitigen ähnlichen übereinstimmender Thatsachen unter ein allgemeines Princip, und hat somit die nothwendige Bedingung der Wahrscheinlichkeit für sich. Die grofse Uebereinstimmung zwischen dem Verhalten der Lichtstrahlen und der Wärmestrahlen kann keinen Einwurf gegen die Zulässigkeit dieser Hypothese abgeben, denn warum soll es nicht ähnliche Stoffe mit übereinstimmenden Wirkungen geben? Die so sehr zum Beweise der Identität beider in Anspruch genommene stete Verbindung von Licht und Wärme verliert ihr Gewicht, wenn man die vom leuchtenden Phosphor ausgeschiedene geringe Wärme und insbesondere den Umstand berücksichtigt, dafs sich nach Melloni die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen gänzlich trennen lassen. Dafs glühende Körper, in denen eine unermefsliche Menge Wärme angehäuft ist, Wärme ausstrahlen und dafs die hierdurch bedingten Wärmewellen zugleich den überall vorhandenen Lichtäther in Schwingungen versetzen, kann, als blofse Thatsache aufgefafst, kein Hindernifs abgeben und scheint auch einer tiefer eingehenden Erklärung keine unüberwindlichen Schwierigkeiten in den Weg zu legen. Soll aber die Hypothese auf allgemeine Gültigkeit gegründete Ansprüche machen, so mufs sie nothwendig näher angeben, wie es zugeht, dafs mit den Strahlen der Sonne stets Wärmestrahlen verbunden sind, und diese Aufgabe bietet so viele und grofse Schwierigkeiten dar, dafs es anmafsend seyn würde, sie vollständig lösen zu wollen. Ohne dieses zu beabsichtigen, mögen folgende Betrachtungen nur dazu dienen, die eigentliche Sachlage näher anzugeben.

371) Nach dem, was bis jetzt als ausgemacht gilt, können wir uns, wie es scheint, nur auf zweierlei Weise eine Vorstellung hiervon machen. Nach der ersten und einfachsten gehen die Wärmestrahlen von der Sonne aus, die Undulationen der Wärme begleiten die des Lichts und beide kommen ver-

eint auf der Erde an[1]. Ob die Wellen beider mit gleicher oder verschiedener Geschwindigkeit fortschreiten, kann nicht entschieden werden, denn auch bei sehr ungleicher Geschwindigkeit müfsten die langsameren die schnelleren unlängst eingeholt haben und sie fortdauernd begleiten. Am einfachsten würde es dann seyn, die Sonne für einen im Zustande der stärksten Glühhitze befindlichen und somit sowohl Wärme- als auch Lichtstrahlen aussendenden Körper zu halten, welcher, im absolut leeren Raume befindlich und von keinem die Wärme absorbirenden Körper in hinlänglicher Nähe umgeben, seine hohe Temperatur nicht verlieren könnte, mithin stets leuchtend und erwärmend bleiben müfste. Hierfür entscheidet nicht blofs die Analogie mit irdischen, stark glühenden Körpern, sondern auch das geringe specifische Gewicht der Sonne, welches man leicht einer stupenden Glühhitze beilegen könnte[2]. Dafür zeugt ferner indirect die bis zur Erzeugung von Dampfform gesteigerte Glühhitze der Kometen und Feuerkugeln, die unserer Erde die

---

1 Dafs diese Vorstellung ganz verschieden von der oben (§. 72) bestrittenen ist, wonach die Wärmematerie durch die Lichtwellen fortgerissen wird, darf kaum bemerkt werden. Hier wird angenommen, dafs die Undulationen beider ätherischer Flüssigkeiten, des Lichts und der Wärme, mit einander fortschreiten.

2 Schon vor mehreren Jahren habe ich Newton's ältere Hypothese, wonach die Sonne ein stark weifsglühender Körper seyn soll, wieder hervorgehoben, s. Schweigger's Journ. Th. XXV. S. 17, und ich finde noch jetzt keinen Grund, hiervon abzugehen. Hierauf führte mich die wiederholte Beobachtung, dafs da, wo Sonnenflecken gewesen sind, sich nachher Streifen zeigen, welche frappant denen gleichen, die man bei dickflüssigen Massen nach dem Einsinken eines festen Körpers in denselben gewahrt. Die früher durch Herschel aufgestellte, von Vielen noch jetzt angenommene, Hypothese von einer um die Sonne angehäuften Lichthülle, aufser welcher wir dann noch eine Wärmehülle annehmen müfsten, scheint mir mit der Vorstellung eines so ausnehmend feinen und seiner Undulationen wegen höchst elastischen, überall im Raume verbreiteten Lichtäthers ganz unvereinbar, wie vor allen Dingen die Hypothese von Löchern in dieser, noch obendrein verdichteten, Lichthülle, die einen Blick auf den dunklen Kern gestatten sollen. Es ist in der That merkwürdig, dafs man einen auf so schwache Beweise gestützten Satz so lange unangefochten angenommen hat. Man will durch geblendete Fernröhre in einer Entfernung von 21 Millionen Meilen die eigentliche Beschaffenheit eines Gegenstandes genau wahrnehmen und vermag auf etliche Tausend Schritt schwarze Flächen nicht von Fensterscheiben zu unterscheiden.

Meteorsteine zuführen, der ursprünglich feurig-flüssige Zustand unserer Erde und sonstige Analogieen, die darauf führen, die im Weltraume befindlichen, noch unveränderten, kosmischen Massen für feurig-flüssig zu halten. Nehmen wir hinzu die sehr hellen Lichtstrahlen und die kräftigen Wärmestrahlen, welche gleichzeitig von intensiv weifsglühenden Körpern ausgehen, so stellt sich eine solche Uebereinstimmung zwischen den Wirkungen der Sonne und denen gewöhnlicher irdischer Körper heraus, dafs wir kaum Anstand nehmen könnten, der hiernach so einfachen Hypothese zu huldigen; allein bei näherer Betrachtung treten dennoch sehr gewichtige Schwierigkeiten hervor, die sich nichts weniger als leicht beseitigen lassen. Die Lichtstrahlen bestehen allerdings aus blofsen Undulationen des Lichtäthers, welche ihrer Natur nach eben so wenig, als die Wellen schallender Körper, eine Anhäufung gestatten; sowohl das Licht, als auch der Schall verschwinden augenblicklich mit dem Aufhören der Wellenbewegung, die Wellen der strahlenden Wärme aber werden zwar, wie jene, von den Körpern durchgelassen und reflectirt, häufen sich aber zugleich auch an, und während der strahlende Körper seine Wärme verliert, nimmt der bestrahlte dieselbe auf. Man könnte diesen Einwurf umgehen, wenn man sagte, irdische Körper, bei denen wir diesen Uebergang wahrnehmen, befänden sich nie in einem so vollkommen leeren Raume, als die Sonne, und der Uebergang der strahlenden Wärme bei den ersteren sey eine Folge der die glühenden Körper umgebenden, wenn auch noch so feinen, Materie und lasse sich daher nicht auf die Phänomene der Sonne übertragen. Hierdurch würden wir aber die gerade so wichtige einfache Analogie der himmlischen und irdischen Erscheinungen mit einer blofsen Hülfshypothese vertauschen, gegen deren Zulässigkeit noch obendrein der Umstand entscheidet, dafs sich die Wärmestrahlen der Sonne eben so, als die von irdischen Körpern ausgehenden, in den irdischen Körpern anhäufen. Wir können daher nicht wohl umhin, der Folgerung Raum zu geben, dafs die Wärme auf gleiche Weise von der Sonne strahlend ausströme, als von irdischen glühenden Körpern, verwickeln uns dann aber hierdurch in alle die Schwierigkeiten, welche oben gegen die Wärmestrahlung der Erde gegen den Himmelsraum geltend gemacht wurden. Allerdings gewinnt die Sache eine andere Gestalt, wenn wir die Verwandlung des

Lichts in Wärme verwerfen und einen eigenen Wärmeäther von eigenthümlichen Qualitäten annehmen; immerhin müſste aber auch dieser von der Erde zurückströmen, um nicht auf der Erde, ganz gegen alle Erfahrung, bis zur bleibenden unermeſslichen Menge angehäuft zu werden; die vorhandene Menge dieses Aethers muſs bei der Sonne abnehmen und im Weltraume zunehmen, was, abgesehn von sonstigen Folgerungen, an sich schon gegen die Natur eines ätherischen Fluidums streitet.

372) Die zweite Vorstellung, die wir uns von der Verbindung des Lichts und der Wärme in den Sonnenstrahlen machen könnten, ist die, wenn wir annehmen, daſs die von der glühenden und dadurch leuchtenden Sonne ausgehenden Lichtundulationen keine Wärmestrahlen mit sich führen, sondern diese erst in der Atmosphäre und den irdischen Körpern erregen. Nach dieser, der durch Marschall v. Bieberstein aufgestellten (§. 83) sehr ähnlichen, Hypothese wäre im Raume bloſs Lichtäther vorhanden, der Wärmeäther eines jeden Himmelskörpers aber, mehr der Anziehung zur gröberen Materie folgend, wäre in ungleichen quantitativen Verhältnissen an diesen, also im vorliegenden Falle an die Erde, gebunden, hätte das Maximum seiner Dichtigkeit im Centrum der Erde und erhöbe sich stets abnehmend bis an die Grenze der Atmosphäre, wo die letzten Theilchen desselben durch das Gleichgewicht ihrer Repulsion mit der Anziehung gegen die wägbare Materie zurückgehalten würden. Diese Hypothese läſst sich durch eine Menge nicht unbedeutender Analogieen unterstützen, vorzüglich wenn man berücksichtigt, daſs die Erregung der Wärmewellen durch die Undulationen des Lichtäthers mit andern Phänomenen sehr genau übereinstimmt. Der Lichtäther selbst wird durch die Wärmeundulationen glühender Körper in Bewegung gesetzt, warum sollte das umgekehrte Verhalten nicht statt finden? Auf gleiche Weise wird die Elektricität, der wir gleichfalls eine wellenartige Bewegung beizulegen wohl gezwungen sind, wenn wir die auſserordentliche Geschwindigkeit der dynamischen elektrischen Strömung vorstellbar machen wollen, durch Wärme erregt, und die elektrische Strömung ruft Wärme hervor (§. 218). Nach dieser Hypothese müſste dann die Wärmesphäre unserer Erde im Innern dieses Planeten die gröſste Dichtigkeit haben, weil dort die Anziehung gegen dieselbe am stärksten ist, und sie müſste von hier aus abneh-

mend an der Grenze der Atmosphäre ihr Mimimum erreichen[1], woraus die noch immer unerklärte Kälte in den höhern Regionen[2] als nothwendige Folge hervorginge. Nach eben dieser Hypothese würden ferner verschiedene Erscheinungen zwar eine andere Gestalt bekommen, zugleich aber unter einander selbst und mit dem sonstigen Verhalten der Körper mehr übereinstimmen. Wenn angenommen wird, dafs manche Gegenden unter der äquatorischen Zone ein aufserordentlich starkes Strahlungsvermögen haben, weil bei ihnen auf grofse Hitze am Tage eine ungewöhnliche und wahrhaft unglaubliche Kälte während der Nacht folgt, so wird dieses vorzügliche Strahlungsvermögen als ein nothwendiges Erkläungsmittel zu Hülfe genommen, ohne im mindesten die Ursache nachzuweisen, warum gerade dort die Strahlung vorzüglich stark seyn soll. Nimmt man dagegen an, dafs in jenen Gegenden die Sonnenstrahlen zwar von Wärmestrahlen aus der Atmosphäre begleitet sind, sofern in letzterer der Wärmeäther überall verbreitet ist, dafs aber ebendaselbst die Wärme des Bodens bedeutend in Bewegung gesetzt und durch die aufsteigende heifse Luft in die Höhe gehoben, mithin der Erdoberfläche in grofser Menge entzogen wird, so mufs nach dem Aufhören dieses Impulses ein Gebundenwerden der Wärme folgen, hieraus also eine bedeutende Kälte entstehen, und zwar um so mehr, je weniger Feuchtigkeit vorhanden ist, welche die erregte Wärme durch Erzeugung von Wasserdampf bindet, nachher aber im Thau der Erde wieder zuführt. Es ist offenbar ungleich leichter, die Abkühlung, welche durch den Schatten einer Wolke erzeugt wird, vom Aufhören der Vibrationen des Wärmestoffes auf der Erdoberfläche abzuleiten, als von einer plötzlich eintretenden Strahlung gegen den heiteren Himmel, welche, in den bezeichneten Gegenden auch am Tage statt findend

1 Hiermit stimmen die §. 291 erörterten Gesetze der Fortpflanzung der Wärme durch expansible Flüssigkeiten überein. Wollte man dagegen einwenden, dafs die Wärme in die höheren Regionen nicht durch Fortleitung, sondern durch Strahlung gelange, so mufs man zugleich zugeben, dafs die strahlenden Wärmewellen, so wie die Licht- und Schallwellen, im Fortgange abnehmen und endlich aufhören, und bei der mit der Höhe so bedeutend abnehmenden Wärme können wir füglich das Ende der Wärmewellen, die von unserer Erde ausgehen, in die Grenze unserer Atmosphäre setzen.

2 Vergl. Art. *Erde*. Temperatur der Atmosphäre. Bd. IV. S. 1008.

und bei Nacht in vorzüglichem Grade wirksam, nothwendig eine allgemeine Verminderung der Temperatur zur Folge haben müfste. Hieraus liefse sich dann auch eine Erklärung des räthselhaften Phänomens entnehmen, worüber bereits[1] ausführlicher gehandelt worden ist, nämlich die hauptsächlich für Menschen empfindliche *Kälte* im Augenblicke des *Sonnenaufganges* und *Sonnenunterganges.* RICHARDSON[2] erzählt, dafs unter hohen nördlichen Breiten die im Freien befindlichen Personen eine plötzliche Kälte in dem Augenblicke empfinden, wenn der obere Sonnenrand sich über den Horizont erhebt. Der aufgestellten Theorie nach würde folgen, dafs der Anfang der Wärmeoscillationen in den oberen Regionen der Atmosphäre, wohin sich der Wärmestoff dann zieht, so wie das Aufhören dieser Oscillationen beim Untergange der Sonne die hierfür vorzüglich empfindlichen Nerven der Menschen afficire.

373) Es läfst sich hier noch eine Betrachtung anknüpfen, welche zwar auf sehr unbestimmten Thatsachen beruhet, aber dennoch einige Beachtung zu verdienen scheint. Wenn wir annehmen, dafs die Wärmestrahlen von der Sonne ausgehen und von da zur Erde gelangen, so müssen diese eben so auf den Mond fallen und von diesem gegen die Erde reflectirt werden, mithin müfsten die Mondstrahlen eine gleiche erwärmende Kraft besitzen, als die directen Sonnenstrahlen, weniger diejenige Gröfse, welche durch die gröfsere Entfernung und in Folge der Absorption durch die Mondoberfläche verloren geht. Unter den verschiedensten, hierbei möglichen Bedingungen wollen wir den einfachsten Fall annehmen, in welchem die Erde und der Mond mit der Sonne ein gleichschenkeliges Dreieck bilden, folglich die von der Sonne ausgehenden, gegen die Erde reflectirten Lichtstrahlen einen längeren Weg zurückzulegen haben, als diejenigen, welche von der Sonne unmittelbar zur Erde gelangen. Setzen wir die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde = 55000 Meilen = a, den Halbmesser der Sonnenbahn = 1, so beträgt die Länge des Weges, welchen die durch den Mond gegen die Erde reflectirten Strahlen zu durchlaufen haben, 1 + a, und wenn die Intensitäten der Wärme-

---

1 Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 365.

2 Narrative of a second expedition to the shores of the Polar-Sea cet. By Franklin. Lond. 1828. 4. App. II.

strahlen sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, so giebt dieses das Verhältniſs $(1+a)^2$ zu $1^2$, oder mit Weglassung der höheren Potenzen $1+2a:1$. Der Werth von a beträgt sehr nahe $\frac{1}{38}$, und die Intensität der reflectirten Strahlen würde also durch den Einfluſs dieser Bedingung 0,95 der direct anlangenden betragen, mithin müſsten die vom Monde zur Erde gelangenden Strahlen ohne Concentrirung ein Thermometer um 9°, 5 C. steigen machen, wenn es in den Sonnenstrahlen um 10° C. steigt. Ungleich gröſser und zugleich selbst nicht einmal mit genäherter Genauigkeit bestimmbar ist der Einfluſs der Absorption durch die Oberfläche des dunklen Mondkörpers. Nach Melloni's (§. 325) Versuchen reflectiren polirte Messing- und Bergkrystallflächen nur 0,44 der auffallenden Wärmestrahlen. Wollen wir also annehmen, daſs die Oberfläche des Mondes tausendmal weniger reflectirte, so würden durch die Mondstrahlen nur $0{,}00044 \times 9{,}5 = 0°{,}00418$ C. Wärme erzeugt werden, aber auch diese geringe Gröſse müſste durch Forbes wahrgenommen worden seyn, wenn wir anders seinen (§. 100) angegebenen Bestimmungen Vertrauen schenken. Auch diese Betrachtung liefert daher ein Argument, wenn auch nur ein schwaches, zur Unterstützung der Hypothese, daſs die Wärmestrahlen nicht unmittelbar von der Sonne ausgehen, sondern durch den Impuls der Lichtwellen in unserer Atmosphäre und unserem Erdkörper erst erzeugt werden, denn alsdann könnten wir annehmen, daſs die schwachen Strahlen des Mondlichtes diese Wirkung zu äuſsern nicht vermöchten. Wir können die Wärmeintensität der Intensität des Lichtes nicht allgemein proportional setzen, wenn dieses auch für die Sonnenstrahlen ohne nähere Prüfung angenommen wird. Wäre dieses aber zulässig, so sind die Lichtstrahlen des Mondes 300000mal schwächer, als die des Sonnenlichtes im Mittage, und eine 30000fache Concentrirung der ersteren müſste also nahe 1° C. Wärme geben, was aber gleichfalls nach Forbes der Fall nicht ist.

Obgleich keine directen Beweise für die Hypothese, wonach die Wärmestrahlen nicht von der Sonne selbst ausgehen, sondern erst durch die Lichtwellen in der Atmosphäre und den irdischen Körpern erzeugt werden, sich aufstellen lassen, so giebt es dagegen auch keine gewichtigen Gegengründe gegen ihre Zulässigkeit, und sie empfiehlt sich noch auſserdem durch ihre

Einfachheit und durch den Umstand, dafs wir vermittelst derselben ein unnatürliches stetes Ausströmen des Wärmestoffes aus der Sonne ohne merkbare Abnahme ihrer Temperatur, so wie die wohl naturwidrig zu nennende stete Wanderung des Wärmestoffes von der Sonne zur Erde und von dieser wieder rückwärts zu jener umgehen. Ein dagegen aufzustellendes Argument ist leicht zu widerlegen. Man könnte sagen, nach dieser Hypothese müsse die Wärme der Sonnenstrahlen in gröfseren Höhen wegen geringerer Dichtigkeit des dortigen Wärmeäthers weniger intensiv seyn, statt dafs die Thermometer eben dort stärker afficirt werden (§. 53). Dieser Einwurf läfst sich jedoch beseitigen, wenn man berücksichtigt, dafs die Dichtigkeit des Wärmeäthers in den Körpern, die wir den Sonnenstrahlen aussetzen, also auch in den dorthin gebrachten Thermometern, in jeder Höhe gleich ist und daher auch überall eine gleiche Intensität der Wärme durch die in ihnen erregten Wärmeundulationen erzeugt werden mufs; in der Luft selbst aber werden geringere Wärmemengen hervorgerufen, worauf eben die mit der Höhe zunehmende Kälte beruhet. Zur Anhäufung der Wärme in den von der Sonne beschienenen Körpern ist stets Wärme genug in der Umgebung vorhanden, und sie wird durch das Licht um so stärker hervorgerufen, je weniger dieses in Folge seines Durchganges durch die Luft geschwächt ist. Vorzugsweise aber wird man dieser Hypothese die durch so viele Autoritäten als erwiesen betrachtete Wärmestrahlung gegen den heitern Himmel entgegensetzen. Dieses Argument ist allerdings schwer zu widerlegen, wenn man einmal zugesteht, dafs diese Strahlung in der Weise statt findet, als gewöhnlich angenommen wird. Es läfst sich indefs Folgendes hierüber sagen. Viele mit dem *Aethrioskop* erhaltene Resultate beruhen sicher auf Täuschung. Es ist undenkbar, dafs in heiteren und windstillen Nächten bei vollkommen ruhender Luft die kalten Luftschichten nicht herabsinken sollten, um so mehr, wenn die Luft bei Tage durch ihre Expansion zum Aufsteigen vermocht ist[1]. Ein solches Niedersinken gewahrt man täglich im Winter in erwärmten Zimmern an Fenstern bei beträcht-

---

1 Das *Thauen* wäre hiernach einfach nur der umgekehrte Procefs des Aufsteigens der erhitzten, mit Wasserdampf beladenen Luft, welcher durch Abkühlung des am Tage erwärmten Bodens von selbst erfolgen müfste.

licher äufserer Kälte, und wollte man diese niedersinkenden Luftströme mit einem Aethrioskop auffangen, so würde man ganz gleiche Wirkungen wahrnehmen, die man doch schwerlich als Folge einer Strahlung betrachten dürfte[1]. Gesetzt aber auch, dieses reichte zur Erklärung aller Phänomene der Strahlung nicht hin, so mufs doch nothwendig die aus den höheren Regionen durch die Lichtstrahlen herabgeführte Menge des Wärmeäthers nach dem Aufhören dieses Impulses in die höheren Regionen wieder zurückkehren, und dieser Rückgang wäre dann die Strahlung. Dabei wird stets vorausgesetzt, dafs das Wärmefluidum durch zwei Kräfte sollicitirt wird, die seinen Molecülen eigenthümliche Expansivkraft und die nicht minder von ihnen unzertrennliche Anziehung gegen die Molecüle der wägbaren Materie; beide streben nach stabilem Gleichgewichte, und stellen dieses wieder her, wenn es durch irgend eine Ursache gestört ist.

Im Ganzen möge diese, vielen Erscheinungen leicht anzupassende, Hypothese als ein Versuch gelten, die verwickelten Functionen der Wärme aus einem andern Gesichtspuncte zu betrachten und unter sich selbst sowohl, als auch mit den bekannten Naturgesetzen überhaupt mehr in Einklang zu bringen, als bisher geschehen ist.

### 4) Wärmecapacität der Körper, specifische Wärme und relative Wärme.

374) Wenn irgend ein gegebener Körper eine gewisse Temperatur hat, die nach einer willkürlichen Thermometerscale gemessen = t seyn möge, ein anderer Körper aber eine hiervon abweichende, die nach derselben Scale gemessen = t′ ist, und beide werden mit einander vereinigt, so zeigt die Wärme beider nach der Vereinigung ein sehr verschiedenes Verhalten. Sind zuerst die Körper einander gleich, also wenn man z. B. Wasser mit Wasser, Quecksilber mit Quecksilber, Eisen mit Eisen verbindet, so ist die Wärme dem arithmetischen Mittel der in den

---

1 Das Herabsinken kälterer Schichten tropfbarer Flüssigkeiten erfolgt mit solcher Feinheit, dafs man dadurch das Maximum ihrer Dichtigkeit aufzufinden vermag, s. §. 380, warum sollte es bei expansiblen Flüssigkeiten nicht gleichfalls statt finden? In beiden Fällen ist dann Ruhe nothwendige Bedingung, statt dafs für eigentliche Wärmestrahlung das Ruhen der Luft nicht erfordert wird.

Theilen früher vorhandenen gleich. Sind daher beide vereinte Massen einander gleich, so ist die Wärme T nach der Vereinigung

$$T = \frac{t + t'}{2},$$

sind aber die Massen verschieden und heifsen sie m und m', so ist

$$T = \frac{mt + m't'}{m + m'}.$$

Beide Ausdrücke sind eigentlich identisch, sofern bei der ersten beide Massen der Einheit gleichgesetzt werden. Vereinigt man statt dessen zwei verschiedene Körper, so erhält man sehr abweichende Werthe = T', wobei T' bald gröfser, bald kleiner ist, als T. Hieraus folgt evident, dafs die Menge von Wärme (nach ganz eigentlich quantitativer Bestimmung, wenn man von einem willkürlichen Puncte der Thermometerscale, am besten vom Nullpuncte derselben, ausgeht), welche die Temperatur des einen gegebenen Körpers durch Hinzukommen vermehrt oder durch Wegnehmen vermindert, für gleiche Mengen von Graden ganz verschieden ist. Bezieht man dieses auf die Massen der Körper, die durch das Gewicht bestimmt werden, so erhält man dasjenige, was Wilke durch *eigenthümliche*, Crawford durch *comparative* Wärme oder *Wärmecapacität* der Körper, Baader durch *wärmebindende Kraft* bezeichneten, was man aber später specifische Wärme (*calor specificus;* chaleur specifique; *specific Caloric*) genannt hat. Herschel [1] bemerkt, dafs man lange vergebens gestrebt habe, den Grund dieser räthselhaften Erscheinung aufzufinden, bis endlich die atomistische Theorie einen Schlüssel zu ihrer Lösung darbot.

375) Der Erste, welcher diesen Unterschied der Körper auffand, war Boerhave [2], indem er durch Fahrenheit Mischungsversuche anstellen liefs; allein diese waren theils zu ungenau, theils wurden sie von ihm unrecht gedeutet, indem er glaubte, die Wärme der Mischung müsse der halben Differenz der Temperaturen beider verbundenen Massen gleich seyn, und sonach konnte er zu keinem genügenden Resultate gelangen.

---

1 Encyclop. metrop. Art. *Heat.* p. 804.
2 Elementa chemiae T. I. p. 296.

Der grofse Irrthum wurde sehr bald durch Richmann[1] verbessert, indem er das nach ihm genannte *Richmann'sche Gesetz* aufstellte, dafs $T = \frac{mt + m't'}{m + m'}$ ist, woraus sich auch die Werthe von $m'$ oder $t'$ für ein bekanntes T auffinden lassen, vorausgesetzt dafs die Versuche sich mit absoluter Genauigkeit anstellen lassen. Es versteht sich jedoch von selbst, dafs dieses Gesetz nur für gleiche Körper, z. B. Wasser mit Wasser, Quecksilber mit Quecksilber u. s. w., gültig ist. Von weit richtigeren Principien ging Black[2] aus, indem er zwischen 1760 und 1765 nicht blofs das eben erwähnte Gesetz kannte, sondern auch die Methode der Vereinigung verschiedener Körper zur Auffindung ihrer specifischen Wärme anwandte, in welchem Bemühen ihm Irvine[3] folgte. Die Bemühungen Beider wurden erst später durch Crawford bekannt, nachdem Wilke[4] die Aufgabe im Jahre 1772 im weiteren Umfange behandelt hatte, dessen erhaltene Resultate um so gröfseres Aufsehen machten, je entscheidender sie in dem Streite über das eigentliche Wesen der Wärme waren. Zur Untersuchung führte ihn die Beobachtung, dafs der Schnee beim Schmelzen fortdauernd Wärme aufnimmt, ohne Erhöhung seiner Temperatur, woraus er schlofs, dafs die Mengen der in verschiedenen Körpern enthaltenen Wärme ungleich seyn könnten. Obgleich dieses Phänomen bekanntlich zur latenten Wärme gehört, soveranlafste es doch die Aufsuchung der specifischen Wärmecapacität, wobei Wilke auf folgende Weise verfuhr. Er erhitzte den gegebenen Körper bis zu einer gewissen Temperatur, tauchte ihn dann in ein gleiches Gewicht eiskalten Wassers, mafs die Erhöhung der Temperatur, und berechnete dann nach Richmann's Regel, wie viel Wasser von der Temperatur des eingetauchten Körpers zur Hervorbringung einer gleichen Temperatur, als die gefundene, erforderlich seyn würde; hierdurch erhielt er das gesuchte Verhältnifs zum Wasser. Nach der angegebenen Formel ist diese Menge

$$m' = m \frac{T - t}{t' - T}.$$

1 Nov. Comment. Petrop. T. I. p. 152. 168 ff.

2 Lectures on nat. phil. T. I. p. 79. 504.

3 Chemical Essays.

4 Neue Schwed. Abhandl. Leipz. 1784. T. II. p. 48. Journ. de Phys. T. XXVI.

Wilke erhitzte z. B. ein Goldstück bis 100° C., warf es dann in ein gleiches Gewicht eiskaltes Wasser und fand die Temperatur 5° C. Hier ist also m der Einheit gleich, $T = 5$, $t = 0$, $t' = 100°$ C., mithin $m' = \frac{5}{95}$ oder $= \frac{1}{19}$, und also enthält das Gold nur $\frac{1}{19}$ so viel Wärme, als Wasser von gleicher Temperatur, oder die specifische Wärme beider verhält sich wie 1 : 19. Wilke giebt zu verstehn, dafs Klingenstierna ihn auf die Idee dieses Unterschiedes geführt habe, Herschel[1] aber erfuhr von Thomson, dafs nach einer Erzählung Robison's ein schwedischer Edelmann bei Black die Versuche um das Jahr 1770 sah und seinem Landsmann eine Nachricht davon mittheilte.

### α) Methode der Mischungen.

376) Die angegebene Methode, verschiedene Körper mit einander zu vereinigen (*methodus mixtionis;* méthode des mélanges; *method of mixtures*) und die specifische Wärme aus der mittleren erzeugten zu bestimmen, wurde also zuerst durch Black und Irvine in Anwendung gebracht, vorzüglich aber durch Adair Crawford[2]. Sind zwei Körper, welche A und B heifsen mögen, gegeben, nennt man ihre Massen, wie oben, m und m', ihre Temperaturen t und t', die gemeinschaftliche Temperatur T, und werden ferner ihre zu vergleichenden Capacitäten durch c und c', die in der Einheit der Masse jedes Körpers bis zu 0° enthaltenen absoluten Wärmemengen durch x und x' bezeichnet, so ist

$$mx + mct$$

die Gesammtmenge der Wärme im Körper A;

$$m'x' + m'c't'$$

die Gesammtmenge der Wärme im Körper B;

$$mx + m'x' + mct + m'c't'$$

die Gesammtmenge beider vor der Mischung;

$$mx + m'x' + (mc + m'c')\,T$$

die Gesammtmenge beider nach der Mischung; also

$$(mc + m'c')\,T = mct + m'c't'.$$

1 Encyclop. metrop. art. *Heat.* p. 304.

2 Experiments and observations on animal heat and the inflammation of combustible bodies, being an attempt to resolve these phaenomena into a general law of nature. Lond. 1779. sec. ed. 1788.

Dieser allgemeine Ausdruck läſst sich auf mehrfache Weise in Anwendung bringen. Ist zuerst die Frage, ob die Capacitäten der Körper sich für verschiedene Temperaturen nicht ändern, so muſs für gleiche Körper die Temperatur nach der Mischung das arithmetische Mittel aus den Temperaturen beider einzelner Körper seyn. Mischt man z. B. gleiche Mengen von Quecksilber, deren Temperaturen 100° und 50° sind, so ist $m = m'$, und $c = c'$ wird vorausgesetzt. Die Formel wird dann

$$T = \tfrac{1}{2}(t + t') = \tfrac{1}{2}(100° + 50°) = 75°.$$

Der Versuch bestätigt dieses Resultat, und es liegt darin also der Beweis, daſs nicht bloſs für Quecksilber, sondern auch für andere Körper die Capacitäten bei ungleichen Temperaturen unverändert bleiben. Neuere Untersuchungen haben zwar gezeigt, daſs dieses Gesetz nicht in aller Strenge richtig ist, denn es würde sich ein Unterschied zeigen, wenn man die Wärmemengen des Quecksilbers nach seiner Ausdehnung bestimmen wollte; immerhin ist dasselbe aber annähernd richtig, und zwar so genau, daſs es erst feinerer Versuche bedurfte, um die geringen Abweichungen wahrzunehmen.

Will man die Wärmecapacität zweier Körper vergleichen oder ihre *relative specifische Wärme* auffinden, so erhält man diese aus der Formel:

$$\frac{c'}{c} = \frac{m\,(T - t)}{m'\,(t' - T)}.$$

Auſser dem angegebenen Beispiele kühlte Wilke ein bis 86° C. erhitztes Stück Glas in einem gleichen Gewichte Wasser bei 0° C. ab und fand die Temperatur nachher = 12°,75. Hier ist also

$$m = m'; \; t = o; \; t' = 86^0; \; T = 12°{,}75,$$

mithin

$$\frac{c'}{c} = \frac{12°{,}75}{86° - 12°{,}75} = 0{,}174$$

oder die specifische Wärme des Glases ist = 0,174, wenn die des Wassers = 1 ist.

Man kann die Methode der Mischungen auch anwenden, wenn es sich darum handelt, hohe Temperaturen von Körpern zu bestimmen, deren Wärmecapacität bekannt ist. Hierüber

wurde oben bereits geredet [1], und wir wollen daher nur mit Beibehaltung der gewählten Bezeichnungen die Sache durch ein Beispiel erläutern. Nach der Formel ist

$$t' = \frac{(m c + m' c')\, T - m c t}{m' c'};$$

für Glas, nach dem Versuche von Wilke, ist

$$m = m';\ t = 0;\ c = 1;\ c = 0{,}174$$

und

$$T = 12^{\circ}{,}75,$$

also

$$t' = \frac{1{,}174 \times 12{,}75}{0{,}174} = 86.$$

Die Anwendung dieses Verfahrens erfordert inzwischen eine so leicht sich darbietende Correction, daſs diese nicht wohl von einem sachkundigen Experimentator übersehn werden dürfte. Es wird nämlich nicht bloſs das Wasser durch den hineingebrachten Körper erwärmt oder abgekühlt, sondern auch das Gefäſs, worin sich dasselbe befindet. Inzwischen ist es nicht schwer, die hierfür erforderliche Correction anzubringen, welche darin besteht, daſs man das Gefäſs nach seiner Masse und specifischen Wärme auf eine äquivalente Masse Wasser reducirt und sie der Masse des Wassers hinzuzählt. Ist die Masse des Gefäſses = (m), seine specifische Wärmecapacität = (c), die des Wassers = c, so ist die auf Wasser reducirte Masse $\mu = (m)\,\frac{(c)}{c}$, und indem man sie der Masse des Wassers hinzusetzt, erhält man statt m in der angegebenen Formel $m + \mu$, wofür man auch M setzen kann. Wird eine Reihe von Versuchen angestellt, so bleibt $\mu$ eine beständige Gröſse, die jederzeit zu m addirt werden kann, wenn letzteres auch wechselt, und sollte (c) unbekannt seyn, so kann man dieses vor dem Beginne der Versuche erst aufsuchen. Nach der Formel ist:

$$(c) = \frac{m c\,(T - t)}{(m)\,(t' - T)} \text{ und } (m)\,\frac{(c)}{c} = m\,\frac{T - t}{t' - T}.$$

Biot [2] theilt ein Beispiel von Crawford mit, welches von ihm auf Centesimalgrade reducirt ist. Crawford goſs 40 Un–

1 S. *Thermometer.* Bd. IX. S. 1017.
2 Traité. T. IV. p. 699.

zen Wasser von 20°,0833 in ein Gefäfs von Weifsblech, welches 42°,916 erwärmt war, und fand nach einigen Minuten die Wärme = 20°,555. Hier ist also m = 40; t = 20°,0833; t′ = 42°,916; T = 20°,555, und daraus liefsen sich die einzelnen Werthe finden; es genügt aber, den Werth $(m) \frac{(c)}{c}$ als constante Gröfse zu erhalten, und dieser findet sich durch Substitution = 0,84; das untersuchte Gefäfs war also bei allen Versuchen 0,84 Unzen Wasser gleich zu setzen.

Eine zweite Quelle, woraus bedeutende Fehler dieser Art der Messungen entspringen, liegt in der Ausstrahlung und Einstrahlung der Wärme bei denjenigen Apparaten, die dazu verwandt werden. Am einfachsten läfst sich dieses Hindernifs, mindestens zum grofsen Theile, beseitigen, wenn man nach vorläufigen Versuchen die Erhöhung oder Verminderung der Temperatur ermittelt, welche durch die Mischung verursacht wird, und dann vor dem eigentlichen Versuche den Apparat um die Hälfte unter oder über diese Temperatur bringt, wonach sich also voraussetzen läfst, dafs demnächst durch Ausstrahlung an die Umgebung eben so viel verloren, als durch die Einstrahlung gewonnen wird, und beide Fehler sich somit ausgleichen [1]. Neuerdings hat NEUMANN [2] auf den Grund der Ausstrahlungsgesetze nach FOURIER's Bestimmung die Mittel zur Correction dieses Fehlers angegeben, allein die genaue Auffindung der numerischen Werthe ist in den einzelnen Fällen mit sehr grofsen Schwierigkeiten verbunden [3]. Endlich versteht sich von selbst, dafs die vollständige Vereinigung der Körper zur genaueren Bestimmung ihrer anfänglichen und nachherigen Temperatur, so wie die Richtigkeit der gebrauchten Thermometer jederzeit zu berücksichtigen sey.

---

1 Man benennt diese Methode nach ihrem Erfinder RUMFORD's *Methode.* S. Gilbert's Ann. XLIV. 8.

2 Commentatio de emendanda formula perquam calores corporum specifici ex experimentis methodo mixtionis institutis computantur. Regiom. 1834. 4.

3 Beispiele der Anwendung beider Hülfsmittel zur Vermeidung der hieraus hervorgehenden Fehler findet man in den folgenden Untersuchungen mehrere.

### β) Eis-Calorimeter.

377) Seit dem Jahre 1777 benutzten LAVOISIER und LAPLACE[1] das von ihnen erfundene Eiscalorimeter[2] zur Bestimmung der specifischen Wärme der verschiedenen Körper. Die Anwendung dieses Apparates beruhet auf dem Principe, daſs das Eis eine gewisse Quantität Wärme bedarf, um in flüssiges Wasser verwandelt oder geschmolzen zu werden, und man schlieſst daher aus der Quantität des geschmolzenen Eises auf die Menge des in dem Körper bei einer gewissen Temperatur enthaltenen Wärmestoffes, welchen er zum Schmelzen des Eises hergiebt, bis er selbst zur constanten Temperatur desselben, nämlich zum Nullpuncte der achtzigtheiligen oder hunderttheiligen Scale, gelangt ist. BIOT bemerkt, daſs hierbei vorsichtig die Anwendung des tiefer als bis 0° C. kalten Eises vermieden werden müsse, weil sonst eine gewisse Quantität Wärme verwandt werde, um dasselbe bis zu dieser Temperatur zu erwärmen, und daher wendet man solches Eis an, welches gerade im Begriff ist zu schmelzen, so daſs man die Menge des abgegebenen Wärmestoffes aus der Quantität des geschmolzenen Wassers berechnen kann. Hiernach ist zugleich erforderlich, daſs man den Versuch nicht eher beginnt, als bis das geschmolzene Wasser anfängt abzutröpfeln, weil sonst eine Quantität desselben in den Zwischenräumen der Eisstücke zurückbleiben könnte. Obgleich das Eis, durch dessen Schmelzung man die ihm mitgetheilte Wärme zu messen beabsichtigt, gegen das Eindringen der Wärme von auſsen durch die Wandungen des Calorimeters vermittelst des umgebenden Eises geschützt ist, so läſst sich doch dem Eindringen der äuſseren Luft in den inne-

1 Mém. de l'Acad. de Par. 1780. Mémoires de Chim. T. I. LAVOISIER Traité élém. de Chim. Par. 1805. T. II. p. 76. Ann. de Chim. T. LXXXV. p. 75.

2 Vergl. *Calorimeter.* Bd. II. S. 9. Nachträglich bemerken wir, daſs WEDGWOOD in Philos. Trans. T. LXXIV. p. 371 verschiedene Einwendungen gegen die Brauchbarkeit dieses Apparates gemacht hat, die sich aber meistens auf die Form beziehn und auf Fehler, die zwar leicht zu begehn sind, von einem geübten und behutsamen Experimentator aber vermieden werden können. Inzwischen können wegen der groſsen Menge der zum Schmelzen des Eises erforderlichen Wärme nur beträchtliche Wärmemengen damit gemessen werden und in dieser Beziehung steht dieser Apparat dem neuerdings gangbareren Wassercalorimeter nach.

ren Behälter und der hierdurch zugeführten Wärme nicht vollständig begegnen. Das Verschliefsen mit einem polirten und daher die Wärmestrahlen stark reflectirenden Deckel ist zwar ein gutes Mittel, wenn die Versuche dieses gestatten, und vollständig könnten die hieraus erwachsenden Fehler vermieden werden, wenn die Versuche in einer Umgebung von genau 0° C. Temperatur angestellt würden, was jedoch nur selten angeht, im Ganzen aber ist der hieraus hervorgehende Fehler nicht grofs, insbesondere wenn die Temperatur der Umgebung nicht viel von 0° C. abweicht. Inzwischen räth Biot, ihn zu corrigiren, indem man zwei möglichst gleiche Calorimeter anwendet, deren einer blofs dem Einflusse der in sein inneres Gefäfs eindringenden Luft ausgesetzt ist, wodurch man in Stand gesetzt wird, diese Gröfse für sich zu finden und von der Gesammtwirkung beim andern Calorimeter abzuziehn. Ist man von der völligen Gleichheit beider nicht überzeugt, so darf man nur den Versuch doppelt anstellen und dabei die Calorimeter wechseln, um den aus der Ungleichheit entstehenden Fehler zu entfernen.

Unter der Voraussetzung, dafs die Menge der in einem Körper enthaltenen Wärme den Graden des Thermometers proportional ist, werden die Mengen des geschmolzenen Eises diesen gleichfalls proportional seyn, und wenn daher dieser Körper 10° warm ist und durch Abkühlung im Calorimeter 1 Kilogramm Eis schmelzt, so wird er bis 20° erwärmt und bis gleichfalls zu 0° abgekühlt 2 Kilogramm und bei 30° Wärme 3 Kilogramm schmelzen. Dieses ist im Ganzen richtig, mindestens sind die Ausnahmen hiervon sehr klein, meistens zum Verschwinden, vorausgesetzt, dafs der Körper durch seine Abkühlung bis 0° C. seinen Aggregatzustand nicht ändert. Ist ferner die Masse des Körpers = 1 und schmelzt er von 10° bis 0° erkaltend die Einheit von Eis, so wird eine Masse desselben = n auch n Einheiten Eis schmelzen, was offenbar anzeigt, dafs der Wärmestoff nach ganz eigentlich quantitativen Verhältnissen in ihm vorhanden ist. In Rücksicht der Massen ist dieses Verhältnifs völlig genau, sofern man von den nämlichen Temperaturen ausgeht, also die einfache und die n-fache Masse bis 10° oder 20° oder t° erhitzt. Alles dieses ist jedoch nur für die nämlichen Körper gültig, es werden aber ganz abweichende Resultate erhalten, sobald man verschiedene

Körper anwendet, und hierauf eben beruhet der Unterschied der specifischen Wärme.

378) Um zu einem festen Anhaltpuncte zu gelangen, nehmen wir als Einheit diejenige Wärmemenge an, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm Eis bei 0° C. zu schmelzen. Es heiſse dann ferner x die unbekannte Wärmemenge, welche bei 0° C. in einem Kilogramm des Körpers A in was immer für einem Zustande des Gebunden- oder Ungebundenseyns vorhanden ist. Wird die Temperatur dieses Körpers A bis zu T Graden des gegebenen Thermometers erwärmt, und schmelzt er dann, in das Calorimeter gebracht und bis 0° erkaltend, N Kilogramme Eis von 0°, so müssen wir annehmen, daſs ihm durch seine Erwärmung bis zur Temperatur T so viel Wärme zugeführt sey, als diese Masse Eis zu schmelzen erfordert wird. Setzen wir also $c = \frac{N}{T}$, so drückt dieser Quotient die Menge der Kilogramme Eis aus, welche der Körper dadurch zu schmelzen vermag, daſs er sich um 1 Grad seiner Temperatur abkühlt oder 1 Grad der von ihm aufgenommenen Wärme wieder abgiebt. Für jede andere Temperatur t drückt dann $x + ct$ die im Körper A vorhandene gesammte Wärme aus, und $ct$ giebt zugleich in Kilogrammen die Menge des Eises an, welches er durch Abkühlung bis 0° C. zu schmelzen vermag. Ist seine Masse, gleichfalls nach Kilogrammen gerechnet, $= m$, so ist die Wärme, welche er bei 0° C. enthält, $= mx$ und diejenige, welche er bei t Graden Temperatur enthält, $= mx + mct$, wonach also $mct$ gleichfalls die Menge von Eis ausdrückt, die er durch Abgabe eines Grades seiner Temperatur zu schmelzen vermag. Dieses findet indeſs nur Anwendung auf die nämlichen Körper und nur so lange, als sie ihren Aggregatzustand nicht ändern; für verschiedene Körper aber oder für die nämlichen in verändertem Aggregatzustande findet dagegen ein anderer Werth von c statt und dieses ist eben, was man specifische Wärme nennt. Ist der Körper in *fester Gestalt* und will man seine specifische Wärme auffinden, so erhitzt man die vorher bestimmte Masse m desselben bis zu t Graden, bringt ihn in das Calorimeter, läſst ihn darin bis 0° C. erkalten, miſst die Menge des durch ihn geschmolzenen Eises $= n$ und erhält dann:

$$mct = n, \text{ also } c = \frac{n}{mt},$$

wodurch seine specifische Wärme bestimmt ist. Lavoisier und Laplace machten z. B. folgenden Versuch, welchen Biot auf neues französisches Maſs und Centesimalgrade der Temperatur reducirt hat. Sie erhitzten ein Stück Eisenblech 3,77264 Kilogramm schwer in siedendem Wasser bis 97°,5 C., brachten es in das Calorimeter, und als es nach 11 Stunden bis 0° C. erkaltet war, hatte es 0,542004 Kilogramm Eis geschmolzen. Hieraus ergiebt sich

$$c = \frac{0{,}542004}{3{,}77264 \times 97{,}5} = 0{,}0014735.$$

Es folgt einfach aus der Natur der Sache, daſs man statt des Centesimalthermometers jedes andere und ebenso statt des gewählten neufranzösischen Gewichtes jedes andere in Anwendung bringen könne. Das Gewicht ist hierbei ganz willkürlich, denn es kommt sowohl im Zähler als auch im Nenner der Formel vor; da sich aber die Thermometergrade bloſs im Divisor befinden und die Formel überhaupt angiebt, wie viel Eis durch einen Grad der gewählten Scale geschmolzen wird, so muſs der Quotient so viel kleiner seyn, je mehr Grade des gewählten Thermometers einem gewissen Unterschiede der Temperatur zugehören. Will man daher den gefundenen Quotienten auf eine andere Thermometerscale reduciren, so darf man ihn nur mit dem Verhältnisse der Thermometerscalen multipliciren, also im gegebenen Beispiele mit $\frac{100}{80}$, wenn man statt der Centesimalgrade Reaumür'sche verlangte. Es ist aber

$$0{,}0014735 \times \tfrac{5}{4} = 0{,}001841875,$$

und eben diese Gröſse wurde ursprünglich von Lavoisier und Laplace gefunden. Sie nahmen 7,7070319 Pfund Blech bei 78° R. Temperatur und erhielten 1,109795 Pfund geschmolzenes Eis. Hiernach ist

$$c = \frac{1{,}109795}{7{,}7070319 \times 78} = 0{,}001841875,$$

wie oben. Uebrigens ist die Gröſse c nur eine relative und dient dann, wenn man die Normaleinheit festgesetzt hat, nur zur Vergleichung.

379) Sollen die specifischen Wärmen flüssiger Körper bestimmt werden, so kann man diese nicht unmittelbar in das Calorimeter bringen, sondern in einem Gefäſse eingeschlossen,

und es findet hierbei dann die nämliche Correction statt, welche bei der Methode der Mischungen für das Gefäfs, worin das zum Messen bestimmte Wasser enthalten ist, in Anwendung gebracht wurde. Ist demnach die Masse des Gefäfses, worin sich die zu untersuchende Flüssigkeit befindet, = m, die specifische Wärmecapacität seines Stoffes = c, bezeichnen m′ und c′ diese nämlichen Gröfsen für die Flüssigkeit, t die gemeinschaftliche Temperatur beider und n die Menge des geschmolzenen Eises, so ist

$$mct + m'c't' = n, \text{ also } c' = \frac{n - mct}{m't}.$$

Lavoisier und Laplace z. B. nahmen zur Bestimmung der specifischen Wärme der Salpetersäure 4 Pfund dieser Flüssigkeit und gossen sie in ein Glas von 0,53125 Pfund Gewicht, dessen specifische Wärme für die achtzigtheilige Scale = 0,003215 gefunden war. Die Erwärmung wurde in siedendem Wasser bis 80° R. gebracht und es fanden sich nach 5 Stunden 3,66406 Pfund Eis geschmolzen. Hierin ist n = 3,66406; m = 0,53125; c = 0,003215; t = 80°; m′ = 4, also

$$c' = \frac{3{,}66406 - 0{,}53125 \times 0{,}003215 \times 80}{4 \times 80} = 0{,}0110232$$

oder für die Centesimalscale = 0,00881856. Als sie auf gleiche Weise mit Wasser verfuhren, fanden sie, dafs 1 ℔. Wasser bei 60° R. oder 75° C. gerade 1 ℔. Eis schmolz. Für Wasser ist also der Werth von c′ = 0,01666 .... nach der achtzigtheiligen Scale oder = 0,01333.... nach der Centesimalscale. Dividirt man die für andere Substanzen gefundenen Werthe von c′ mit der einen oder der andern dieser Gröfsen, so erhält man für die Reaumür'sche oder die Centesimalscale die relativ specifischen Wärmen. Meistens nimmt man aber zur leichteren Uebersicht die specifische Wärme des Wassers als Einheit an und vergleicht damit die übrigen. Es findet sich dann die des Quecksilbers = 0,029, d. h. wenn eine gegebene Menge Wasser durch 1° Wärmeverlust 1 Pfund Eis zu schmelzen vermöchte, so würde 1 Pfund Quecksilber nur 0,029 Pfund zu schmelzen vermögen, eine gleiche Masse Wasser aber würde nur 0°,029 Wärme verlieren und dadurch eine gleiche Masse Quecksilber um 1° erwärmen. Hierbei ist die Thermometerscale gleichgültig, denn die Regel pafst für alle auf gleiche Weise.

380) Das Eiscalorimeter läfst sich, wie Biot[1] bemerkt, auch noch zu andern Untersuchungen, als zur Auffindung der specifischen Wärme benutzen. Verschiedene *chemische Verbindungen* erzeugen bekanntlich Wärme, und will man deren Menge kennen lernen, so erkältet man sie einzeln bis 0° C., verbindet sie dann und mifst die entbundene Wärme mittelst der Menge des durch sie geschmolzenen Eises. Lavoisier und Laplace gossen 1,5 Pfund Wasser zu 2 Pfund Schwefelsäure von 1,87051 specifischem Gewicht, beide bei 0° Temperatur, brachten sie vereint in das Calorimeter und erhielten 3,1406 Pfund geschmolzenes Eis, woraus folgt, dafs 1 Pfund der vereinten Flüssigkeiten 0,8973 Pfund Eis zu schmelzen vermag. Selbst wenn Körper durch ihre Vereinigung Wärme binden, kann man den bewirkten Wärmeverlust damit messen. Hierzu ist erforderlich, sie vor ihrer Vereinigung so weit zu erhitzen, dafs sie vereint nicht bis 0° C. erkalten, dann die Menge Eis zu bestimmen, die sie vereint bis zum Herabgehn auf 0° C. schmelzen, und indem man diese Gröfse von der Menge des Eises abzieht, die sie vom Puncte ihrer Erhitzung an bis zum Herabsinken auf 0° C. geschmolzen haben würden, so ergiebt sich die Menge der verschluckten Wärme. Angenommen die Mischung sey in ihren einzelnen Theilen bis t Grade erwärmt, sie habe durch die Vereinigung x Grade verloren und dann noch eine Menge Eis = a geschmolzen, so ist für eine Masse = m′ und eine specifische Wärme = c′ offenbar

$$m'c'(t-x) = a.$$

Um den Werth von c′ zu ermitteln, darf man nur die schon vereinte Masse bis t′ Grade erwärmen, dann im Calorimeter bis 0° erkalten lassen, um die Menge des geschmolzenen Eises = a′ zu erhalten, wodurch man

$$m'c't' = a'$$

erhält. Nimmt man hieraus den Werth von m′ c′ und setzt ihn in die erste Gleichung, so ergiebt sich

$$x = \frac{a't - at'}{a'}.$$

Dafs sich vermittelst des Eiscalorimeters auch noch andere Auf-

1 Traité. T. IV. p. 401.

gaben lösen lassen, namentlich die Bestimmung der durch den Lebensprocefs oder durch Verbrennung erzeugten Wärme, darf als bekannt vorausgesetzt werden und gehört nicht eigentlich zu der vorliegenden Aufgabe.

### γ) Wassercalorimeter.

381) Hauptsächlich zur Bestimmung der specifischen Wärme der expansibelen Flüssigkeiten hat man sich häufig des Wassercalorimeters von verschiedener und mehrfach abgeänderter Construction bedient, wobei jedoch im Allgemeinen das Princip zum Grunde liegt, dafs die in den untersuchten Körpern von einer gewissen höheren Temperatur an bis zu einer niedrigern enthaltene Wärme dem kälteren Wasser mitgetheilt wird oder dafs umgekehrt die Körper dem wärmeren Wasser Wärme entziehn. Ist dann die Masse der verschiedenen Körper bekannt und zugleich die Zahl der Wärmegrade, um welche sie eine gegebene Quantität Wasser erwärmen oder erkälten, so findet man hieraus ihre specifische Wärmecapacität. Die Construction dieser, von Rumford zuerst gebrauchten Calorimeter im Allgemeinen ist bereits beschrieben worden[1], die von den einzelnen Experimentatoren dabei angebrachten Modificationen aber werden am besten bei ihren Versuchen erwähnt. Uebrigens läfst sich dieses Calorimeter ebenso gut dem Eiscalorimeter anreihen, als mit den Apparaten, die zur Auffindung der specifischen Wärme durch Mischung dienen, in Parallele setzen. Es macht nämlich keinen wesentlichen Unterschied, ob die gegebene Wärmemenge dazu verwandt wird, eine gewisse Quantität Eis zu schmelzen, oder eine bestimmte Masse Wasser um eine gewisse Menge von Thermometergraden zu erwärmen. Von der andern Seite kann man die Sache aber auch so betrachten, als ob die zu untersuchenden Körper mit dem Wasser gemischt würden und dessen Temperatur erhöhten; mindestens hat Crawford, welcher sich der Methode der Mischungen bediente, auch die specifischen Wärmen der Gasarten auf die Weise untersucht, dafs er sie in Gefäfsen erwärmte und diese dann im Wasser abkühlen liefs. Nehmen wir also an, dafs die für die Methode der Mischungen gebrauchten Apparate als

---

1 S. Art. *Calorimeter*. Bd. II. S. 13.

Wassercalorimeter zu betrachten seyen, was genau genommen wohl geschehn muſs, so hätten wir bis jetzt nur zwei Methoden zur Auffindung der specifischen Wärme der Körper kennen gelernt.

### δ) Methode der Abkühlung.

382) Joh. Tob. Mayer[1] stellte zuerst den Satz auf, daſs die specifische Wärme eines Körpers aus der Zeit seiner Abkühlung zu entnehmen sey. Nach seiner oben (§. 256) angegebenen Formel ist

$$L = \frac{1}{pc}, \text{ also } c = \frac{1}{Lp},$$

worin c die specifische Wärmecapacität, L das Leitungsvermögen, welches aus der Abkühlungszeit entnommen wird, und p das specifische Gewicht der Körper bezeichnen. Herschel[2] bemerkt hierbei, daſs zur Bestimmung der specifischen Wärme gleiche Volumina genommen und die specifische Wärme den Zeiten der Abkühlung direct proportional gesetzt wurden. Diese bezogen sich aber auf das Volumen, und wolle man dagegen die specifische Wärme der Masse kennen lernen, so müsse mit dem specifischen Gewichte dividirt werden. Heiſse also die specifische Wärme der Masse c′, die des Volumens c, so sey

$$c' = \frac{c}{p}.$$

Diese Methode ist sehr empfohlen worden durch Leslie[3], welcher viele Versuche danach angestellt hat, wie nicht minder durch Dalton[4], nach dessen Ansicht die Resultate von den Fehlern der Thermometer ganz unabhängig sind, überhaupt aber gehören hierher alle die Versuche, welche zur Bestimmung des *Leitungsvermögens* der Körper oben (§. 237 ff. Gesetze des Erkaltens)

---

1 Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. Erlang. 1796. Vergl. Gren's Journ. d. Phys. Th. III. V. Crell chem. Ann. 1798. St. 6. Ann. de Chim. T. XXX. p. 32.

2 Encyclop. metrop. Art. *Heat.* p. 308.

3 Experimental Inquiry into the nature of Heat. 1804.

4 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissensch. Th. 1.

bereits mitgetheilt worden sind. Murray[1] dagegen verwirft diese Methode, weil die Abkühlungszeiten noch durch andere Ursachen, als die bloſse Wärmecapacität bedingt werden, namentlich durch das Leitungs- und Strahlungsvermögen. Das letzte Hinderniſs haben Leslie und Dalton dadurch vermieden, daſs sie die zu untersuchenden Körper in Glas einschlossen, wonach also das Strahlungsvermögen der Oberfläche constant war, allein der Einfluſs des Leitungsvermögens ist insbesondere bei gräſseren Massen ganz unvermeidlich. Bei Flüssigkeiten kommt obendrein der Grad ihrer Fluidität in Betrachtung, vermöge welcher ihre einzelnen Theile sich ungleich bewegen und zur Abgabe ihrer Wärme an die Oberfläche gelangen. Mehr als J. T. Mayer haben Dulong und Petit[2] bei ihren Versuchen (§. 242) die Ursachen der Fehler zu vermeiden gesucht und die ursprüngliche Formel erweitert. Für wesentlich hielten sie, die Masse der zu untersuchenden Körper mehr zu verkleinern und die Abkühlung langsamer statt finden zu lassen. Sie beobachteten daher die Abkühlungszeiten erst dann, wenn der Körper nur wenige Grade wärmer war, als die Umgebung, und auſserdem erhielten sie die letztere dadurch bei einer constanten Temperatur, daſs sie dieselbe in eine durch Eis stets gleichmäſsig abgekühlte und inwendig zur besseren Aufnahme der Wärme mit Ruſs überzogene Hülle einschlossen, in welcher die Luft bis auf 2 Millim. Quecksilberdruck verdünnt war. Die hierin eingesenkten Flüssigkeiten und festen Körper befanden sich auſserdem in gleichen Gefäſsen, deren Oberflächen daher ein stets gleiches Strahlungsvermögen ausübten. Gleiche Massen der zu untersuchenden Körper wurden dann in ihren Behältern bis zu bestimmten Graden erwärmt, in die mit Eis oder kaltem Wasser umgebene Kugel gebracht und die Zeit der Abkühlung gemessen, aus welcher die specifische Wärme hervorgeht. Setzt man nämlich die Gültigkeit des Newton'schen Gesetzes voraus, wie auf jeden Fall auch nach der Ansicht der französischen Physiker dann geschehn kann, wenn der Temperaturunterschied des Körpers und der Hülle nicht groſs ist, so muſs das Differential der Temperaturabnahme zum Differential der Zeit in einem gewis-

1 Chemistry. T. I. p. 384.
2 Ann. Chim. Phys. T. X. p. 399.

sen Verhältnifs zur Temperatur stehn, also wenn $\Theta$ die Temperatur und t die Zeit bezeichnet,

$$-\frac{\partial\Theta}{\partial t} = m\Theta, \text{ also Log. } \Theta = mt + \text{Const.}$$

seyn. Bei den Versuchen von Dulong und Petit, die für ähnliche als Norm dienen könnten, fing die Beobachtung an, wenn der zu untersuchende Körper auf 10° C. herabgegangen war, und dauerte so lange, bis er 5° erreicht hatte, also war $\Theta = 10$ und — Log. 10 = Const., folglich

$$\text{Log. } 10 - \text{Log. } \Theta = mt \text{ und } m = \frac{\text{Log. } 10 - \text{Log. } \Theta}{t}.$$

Es wurde die Zeit gemessen, binnen welcher die Temperatur von 10° bis zu 5° herabging, und für diese Grenze hat man daher

$$m = \frac{\text{Log. } 2}{t}.$$

Der Coefficient m, worauf es hier ankommt, läfst sich noch auf eine andere Weise bestimmen. Alle untersuchte Substanzen befanden sich in dem nämlichen, stets gleiche Strahlung ausübenden, Gefäfse. Die Temperatur oder der Bruchtheil eines Scalengrades, welchen der Körper in der Zeiteinheit bei einem Temperaturunterschiede von 1° C. verlieren mufste, welche Gröfse durch m bezeichnet wird, wurde bedingt durch die Gröfse der strahlenden Oberfläche s und das Strahlungsvermögen e derselben, die sich in allen Versuchen gleich blieben, durch die Masse des Körpers, womit das kleine Gefäfs erfüllt war, und durch dessen specifische Wärme c. Dieses giebt

$$m = \frac{se}{Mc}.$$

Beide Werthe von m einander gleich gesetzt giebt

$$\frac{se}{Mc} = \frac{\text{Log. } 2}{t}, \text{ also } Mc = \frac{set}{\text{Log. } 2}.$$

Für einen andern Körper von der Masse M' und der specifischen Wärme c' hat man

$$M'c' = \frac{set'}{\text{Log. } 2}, \text{ also } \frac{M'c'}{Mc} = \frac{t'}{t}.$$

Hierbei mufs der Einflufs des kleinen Gefäfses, worin die Kör-

per enthalten sind, und der Hülle, die das Thermometer einschliefst, berücksichtigt werden, den man durch k bezeichnen kann. Um diese Gröfse, die bei allen Versuchen beständig bleibt, vorher zu ermitteln, kann man Versuche mit zwei Substanzen anstellen, deren specifische Wärmen genau bekannt sind, z. B. Kupfer und Silber, und erhält dann

$$\frac{M'c'+k}{Mc+k}=\frac{t'}{t},$$

woraus sich der Werth von k entnehmen läfst. Inzwischen setzen diese Versuche voraus, dafs alle Theilchen des in die Hülle eingeschlossenen untersuchten Körpers überhaupt und hauptsächlich in dem Augenblicke, wenn das Thermometer 10° und 5° zeigt, die nämliche Wärme haben, dafs ferner das hervorragende Thermometerrohr bei allen Versuchen gleiche Mengen Wärme verliert. Aufserdem aber hat Victor Regnault[1] gefunden, dafs der rufsige Ueberzug der innern Fläche der umgebenden Hülle als sehr hygroskopische Substanz Feuchtigkeit anzieht und die Herstellung eines genauen Vacuums verhindert, woraus einige der Fehler entspringen, die er bei seinen Probeversuchen nicht vermeiden konnte und die daher diese Methode zur Erreichung der höchsten Genauigkeit weniger geeignet machen.

## a) Specifische Wärme der expansibeln Körper.

383) Mehrere Gelehrte haben sich mit dem schwierigen Probleme beschäftigt, die specifische Wärme der expansibeln Flüssigkeiten aufzufinden[2]. Schon Crawford[3] bediente sich der Methode der Mischungen oder, wenn man will, des Wassercalorimeters zu diesen Bestimmungen. In dieser Absicht verfertigte er dünne cylindrische Gefäfse von Weifsblech, erwärmte die in ihnen enthaltene atmosphärische Luft oder son-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 1.

2 Eine ausnehmend vollständige Zusammenstellung dieser Bemühungen findet man in: Dissertatio physica inauguralis de Calore fluidorum elasticorum specifico. Auct. Alex. Car. Guil. Suerman. Trai. ad Rhen. 1836. 4.

3 A. o. a. O.

stige Gasart dadurch, daſs er sie in andere hohle, nur wenig weitere Cylinder steckte, die durch heiſses Wasser erwärmt wurden, und senkte sie dann in die mit Wasser oder Oel gefüllten hohlen Meſscylinder, um aus der erhöheten Temperatur dieser Flüssigkeiten die specifische Wärme der Gase zu finden. Um diese letztere Gröſse im Verhältniſs zur atmosphärischen Luft zu bestimmen, gebrauchte er zwei gleiche Cylinder, deren einer mit Luft, der andere mit der zu untersuchenden Gasart gefüllt war, und zur Vergleichung mit Wasser brachte er letzteres in den einen Meſscylinder, während der andere mit Luft gefüllt war. Man verkennt die Vorsicht und Genauigkeit, womit diese Versuche angestellt wurden, keinen Augenblick; auch lieſs Crawford die Gase zuvor durch ein stark abgekühltes Gefäſs strömen, ehe er sie in die Meſscylinder brachte, um sie möglichst von aufgenommenen Dämpfen zu befreien, allein die Quantitäten, womit er operirte, waren zu klein, als daſs man genaue Resultate erwarten dürfte. So betrug die Erwärmung des Wassers durch atmosphärische Luft mit Einschluſs des Gefäſses nur 2°,2 F., und weil davon 1°,926 dem Gefäſse zugehören, so blieb für die Luft nur 0°,274 übrig, die corrigirt auf 0°,23 F. herabgehn[1].

384) Auch Lavoisier und Laplace bestimmten mittelst des Eiscalorimeters die specifische Wärme der Luft und des Sauerstoffgases. Zu diesem Ende lieſsen sie eine gemessene Quantität der Gasart durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr streichen, nachdem sie dieselbe vorher in einem andern Rohre durch heiſses Wasser erwärmt hatten. Sie maſsen die Temperatur vor dem Eintritte in das Calorimeter und beim Austritte aus demselben, und bestimmten die specifische Wärme aus der Menge des Eises, welches durch den Unterschied beider Temperaturen geschmolzen war, wobei sie jedoch eine Abkühlung der im Versuche gebrauchten Luft oder Gasart durch das den innern Behälter umgebende Eis bei ihrem Eintritte

---

1 Dalton's Bemühungen, die specifische Wärme der Gase aufzufinden, in: Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft, Th. I. S. 71, übergehe ich. Er bediente sich dabei der Methode der Abkühlung, wie sie bei dem unten zu erwähnenden Verfahren mit tropfbaren Flüssigkeiten näher bezeichnet werden wird.

und Austritte nicht gänzlich vermeiden konnten und aufserdem das vorausgehende Trocknen der Gase vor ihrer Erwärmung vernachlässigten.

385) Die vom französischen Institute aufgegebene Preisfrage, deren durch Delaroche und Bérard eingereichte Beantwortung gekrönt wurde, veranlafste auch Clément und Désormes[1], die Lösung der Aufgabe zu versuchen; sie beschränkten sich aber zunächst auf die Bestimmung der specifischen Wärme der atmosphärischen Luft vermittelst des Eiscalorimeters und fanden, indem sie mehrere Tausend Liter derselben von 0,76 Met. Druck bei 62° bis 63° Temperatur durch das Eiscalorimeter strömen liefsen, die 2° bis 3° warm wieder ausströmten, aus der Menge des geschmolzenen Schnees die specifische Wärme derselben = 0,25, die des Wassers = 1 genommen. Aufserdem füllten sie einen Ballon mit der zu untersuchenden Gasart, senkten ihn in ein Gefäfs mit heifsem Wasser und zählten die Zeit bis zur Erwärmung des Gases, die sie aus der Ausdehnung desselben bestimmten, mittelst der Schwingungen eines Pendels. Indem sie dann die Zeiten der Erwärmung bis zu gleichen Graden der specifischen Wärmecapacität proportional setzten und ebenso umgekehrt einen mit der zu untersuchenden Gasart gefüllten Ballon im leeren Raume erkalten liefsen, fanden sie die specifische Wärme der Luft = 1,00; des Wasserstoffgases = 0,64; der Kohlensäure = 1,48 für gleiche Volumina. Werden diese Gröfsen für das specifische Gewicht corrigirt, so erhält man die Werthe 1,00; 9,60 und 0,97, und auf Wasser reducirt, indem sie die specifische Wärme der Luft = 0,25 gefunden hatten, erhielten sie die Gröfsen 0,25; 2,40; 0,24.

386) Die wichtigsten Versuche über die specifische Wärme der Gase haben Delaroche und Bérard[2] angestellt. Sie bedienten sich hierzu eines Gasometers, aus welchem stets gleiche Mengen der Gase ausströmten, die durch einen nach bekannten Gesetzen regulirten gleichmäfsigen Zuflufs von Wasser ausgetrieben wurden. Die vorher getrocknete und erwärmte Gasart durchströmte dann ein schlangenförmig gewundenes Rohr von acht Windungen, und gab während dieser Zeit dem Was- Fig. 62.

1 Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 321.

2 Ann. de Chimie. T. LXXXV. p. 72 ff.

sercalorimeter diejenige Wärmemenge ab, die aus der erhöhten Temperatur dieses Wassers und dem Temperaturunterschiede der Gasart vor dem Eintritte in das Schlangenrohr und nach dem Ausströmen aus demselben gemessen wurde. Bei einer ersten Reihe von Versuchen brachten sie das Wasser des Calorimeters zu einer constanten Temperatur. Wenn nämlich die erhitzte Gasart das Schlangenrohr durchströmte, so gab sie an das dieses umgebende Wasser ihre Wärme ab und hatte somit beim Ausströmen die Temperatur dieses Wassers angenommen. Das Gefäfs des Calorimeters dagegen nahm die ihm und dem Wasser auf diese Weise zugeführte Wärme an, verlor aber stets durch Ausstrahlung, und dieses mufste so lange dauern, bis die Menge der zugeführten und ausgestrahlten Wärme einander gleich, mithin die Temperatur des Calorimeters stationär wurde. Wenn also verschiedene Gasarten unter gleichem Drucke und von gleicher Temperatur das Schlangenrohr des Calorimeters durchströmten, die äufsere Temperatur aber sich gleich blieb, so mufste der Unterschied dieser Temperatur und derjenigen, worauf der Strom der eigenthümlichen Gasart das Calorimeter erhob, der specifischen Wärme der letzteren proportional seyn, oder wenn man die umgebende Temperatur t, die des Calorimeters t′ nennt und c die specifische Wärme ist, so ist $c = t' - t$.

Um die aus den Gefäfsen ausströmende Gasart vor ihrem Eintritte in das Calorimeter zu erwärmen, ging die sie zuleitende Röhre eine hinlänglich lange Strecke durch ein anderes weites Rohr, in welches siedend heifse Wasserdämpfe geleitet wurden, die sie stets umspielten und bis 100° C. erwärmten. Hierbei waren aber zwei Hindernisse zu beseitigen. Zuerst konnte das erwärmte Gas seine angenommene Temperatur von 100° beim Eintritt in das Calorimeter nicht beibehalten haben, da die dasselbe zuleitende Röhre Wärme an die Umgebung abgab, zweitens aber mufste die Zuleitungsröhre dem Calorimeter aufser der Wärme, welche durch die Gasart mitgetheilt wurde, selbst noch einige zuführen und dadurch die stationäre Wärme erhöhn. Der erstere Wärmeverlust war bei allen Gasarten derselbe, aufserdem an sich unbedeutend, und konnte also vernachlässigt werden, um aber dem zweiten Hindernisse zu begegnen, trennten sie die Gasometer, den Erwärmungsapparat und den gröfsten Theil der Leitungsröhren durch eine dicke

Wand vom Calorimeter und liefsen die Gasart durch eine 20 Millim. lange Glasröhre in das Calorimeter eintreten, die zur Vermeidung des Kittes vermittelst zwischenliegender Lederscheiben verbunden war und als schlecht leitende Substanz wenig Wärme zuführte. Um aber auch die letztere, wenn gleich geringe Wärmemenge genauer zu bestimmen, erwärmten sie die Röhren auf die gewohnte Weise, ohne dafs Gas hindurchströmte, und brachten hierdurch allein das Calorimeter zu einem constanten Ueberschusse seiner Temperatur über die der Umgebung. Zur genaueren Bestimmung dieses Ueberschusses dienten zwei Versuchsreihen. In der ersten, die wir die der aufsteigenden Temperaturen nennen können, erwärmten sie das Calorimeter, bis seine Wärme stationär wurde, und fanden hierbei aus mehreren Versuchen im Mittel die Wärme des Calorimeters 11°, die der äufseren Luft 8°,21, welches einen Unterschied von 2°,79 giebt. In der zweiten, welche die der absteigenden Temperatur heifsen möge, erwärmten sie das Calorimeter über die Temperatur, wobei es stationär geworden war, es mufste daher mehr Wärme ausstrahlen, als es aufnahm, und auf diese Weise abermals durch Erkalten stationär werden. Dieses geschah bei 11°,69, als die Umgebung 8°,13 zeigte, welches einen Unterschied von 3°,56 C. giebt; das Mittel aus beiden Gröfsen ist 3°,1, um welche das Calorimeter durch die Zuleitungsröhre erwärmt wurde. Diese Gröfse kann jedoch nur für den gegebenen Temperaturunterschied gelten, denn angenommen, das Calorimeter habe eine gleiche Wärme, als das Rohr selbst, so konnte ihm durch letzteres gar keine Wärme zugeführt werden. Diesem gemäfs nahmen sie die gefundene Gröfse 3,1 dem jedesmaligen Temperaturunterschiede proportional. War also dieser Unterschied bei dem Probeversuche = 80° und beim Durchströmen der Gasart 72°, so erhielten sie $3{,}1 \times \frac{72}{80} = 2{,}8$. Der eigentliche Punct der stationären Temperatur des Calorimeters wurde bei den nachherigen Versuchen zur Bestimmung der specifischen Wärmen der Gase gleichfalls durch Zunahme und Abnahme der Wärme gemessen. Zuerst wurde die Erwärmung desselben durch das Gas so lange fortgesetzt, bis aus der Langsamkeit der Zunahme zu schliefsen war, es fehle am Maximum nur noch weniger als ein ganzer oder ein halber Grad, dann wurde derselbe mittelst

untergesetzter Weingeistlampe um einige Grade erwärmt, und seine Temperatur sank also nach Wegnahme der Lampe bei fortdauerndem Durchströmen des erhitzten Gases wieder herab, bis auch dann ein stationärer Zustand eintrat, so daſs auch auf diese Weise das Maximum erhalten wurde; das Mittel aus beiden Werthen gab die gesuchte Gröſse. Diese lieſs sich ausnehmend scharf bestimmen, denn der Cylinder des gebrauchten Thermometers war so lang, daſs er nahe von der Oberfläche des Wassers im Calorimeter bis auf den Boden reichte, die Scale war aber so lang, daſs ein Grad 6 Millimeter einnahm, die in 10 Theile getheilt waren, wovon noch ein Zehntel sich füglich schätzen lieſs. Ebenso war ein sehr empfindliches Thermometer angebracht, um die Temperatur des Gases bei seinem Eintritt in das Calorimeter zu messen, welche sich, je nach der Natur des Gases, constant zwischen 95°,6 und 92°,6 hielt. Uebrigens konnte dieses Thermometer die wirkliche Temperatur des Gases nicht angeben, so wie Wasser in einem Gefäſse, welches in siedendem Wasser steht, die Siedehitze nicht annimmt (§. 300). Die Experimentatoren glaubten daher sich der Wahrheit am meisten zu nähern, wenn sie für die Wärme des einströmenden Gases das Mittel zwischen 100° C., die nie überstiegen werden konnten, und derjenigen Temperatur annahmen, die das Thermometer zeigte. Die Temperatur des ausströmenden Gases wurde einfach, aber mit einem gleichfalls sehr genauen und empfindlichen Thermometer gemessen. Auf diese Weise erhielten sie folgende Werthe aus je zwei Versuchen für jede Gasart.

| Gasart. | | Menge. Liter | Barometer | Temperaturen beim Eintritt | beim Ausfluſs | äuſsere | Unterschied |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Luft . . . . . . | 1 | 36,91 | 0m,7405 | 97°,60 | 25°,185 | 7°,262 | 15°,644 |
| | 2 | 30,53 | 0,7548 | 97,30 | 25,067 | 9,776 | 15,824 |
| Wasserstoffgas . | 1 | 37,84 | 0,7494 | 95,80 | 24,765 | 8,040 | 14,388 |
| | 2 | 31,50 | 0,7545 | 95,70 | 25,807 | 12,017 | 14,040 |
| Kohlensauerst. | 1 | 36,11 | 0,7582 | 96,80 | 27,548 | 6,552 | 19,798 |
| | 2 | 30,95 | 0,7520 | 97,15 | 29,598 | 12,016 | 19,801 |
| Sauerstoffgas . . | 1 | 37,42 | 0,7484 | 97,71 | 25,769 | 8,158 | 15,281 |
| | 2 | 31,30 | 0,7503 | 96,30 | 27,764 | 13,205 | 15,449 |
| Salpetergas . . . . | | 30,31 | 0,7582 | 97,00 | 27,924 | 8,923 | 21,246 |
| ölerzeugendes Gas | | 30,85 | 0,7500 | 97,35 | 30,288 | 9,258 | 24,435 |
| Kohlenoxydgas . . | | 30,85 | 0,7535 | 97,55 | 24,505 | 8,475 | 16,270 |

In der letzten Columne sind diejenigen Temperaturen enthalten, bei denen das Calorimeter stationär wurde, und es darf kaum bemerkt werden, dafs aus je zwei zusammengehörenden Versuchen die mittleren Werthe genommen wurden. Es war aber aufserdem erforderlich, die erhaltenen Resultate auf einen gleichen Luftdruck zurückzuführen und daher den Einflufs des ungleichen Barometerstandes auf die specifische Wärme der Gase zu kennen, um hieraus die erforderliche Correction zu entnehmen. Zu diesem Ende stellten sie zwei Hülfsversuche mit atmosphärischer Luft unter verschiedenem Drucke an. Hierzu bedurfte es weiter nichts, als einer Regulirung der Gasometer durch Vermehrung des Druckes der Wassersäule, welche das Ausströmen des Gases bewirkte. Im einen Versuche betrug der Gesammtdruck, unter welchem die eingeschlossene atmosphärische Luft stand, 1,0058 Meter. Es kam nämlich zu dem bereits vorhandenen Drucke von 0,7527 Meter Barometerhöhe noch eine Wassersäule von 3,44 Meter hinzu, welche auf Quecksilber reducirt einer Säule von 0,2531 Metern gleich kommt[1]. Das Durchströmen war so, dafs in 10 Minuten 31,1 Liter Luft von ursprünglich 5° C. Temperatur, also auf 0° C. reducirt 30,53 Liter durch das Calorimeter strömten. Dieser Strom, bis 100° C. erwärmt und genau so wie in den übrigen Versuchen durchgeleitet, brachte das Calorimeter zur stationären Temperatur von 16°,117 über die der umgebenden Luft, nach Abzug der Gröfse, die der Erwärmung durch das Zuleitungsrohr zugehörte. Beim Eintritt war die Temperatur der Luft 96°,9, beim Austritt 22°,832 C., und sie verlor also 74°,068. Setzt man voraus, dafs die specifische Wärme der Luft zwischen den beiden festen Puncten der Thermometerscale sich gleich bleibt, und nennen wir die Gesammtmenge der aus den gegebenen 30,53 Liter entwickelten Wärme = C., so ist klar, dafs 1 Liter Luft unter dem Drucke von 1,0058 Meter Quecksilberhöhe durch die gemessene Abkühlung $\frac{C}{30,53}$ Wärme abgegeben habe und dafs dieselbe Menge um 1 Grad C. sich abkühlend $\frac{C}{30,53 \times 74,068}$ abgeben würde. Die Quantität C der abgegebenen Wärme ist aber dem Unterschiede

1 Die Wasserbehälter des Gasometers wurden für diesen Zweck in das Zimmer des nächst höheren Stockes hinauf gerückt.

zwischen der stationär gewordenen Temperatur des Calorimeters und der äufsern Umgebung proportional, und dieser Unterschied kann also als das Mafs der freigewordenen Wärme gelten, indem man diese den Thermometergraden proportional setzt. Der Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters über die Umgebung war aber 16°,117 C. gefunden worden, und da also C = 16°,117, so drückt

$$\frac{16,117}{30,53 \times 74,068} = 0°0071274$$

den Ueberschufs der Temperatur aus, auf welcher das Calorimeter durch das Durchströmen von 1 Liter Luft auf 0° Temperatur reducirt und unter einem Drucke von 1,0058 Meter Quecksilberhöhe und 1° C. Wärmeverlust erhalten werden könnte. Bei einem andern Versuche brachten aber 35,99 Liter auf 0° C. reducirt unter einem Drucke von 0,7405 Meter Quecksilberhöhe, indem sie sich um 72°,415 C. abkühlten, einen Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters von 15°,423 hervor, welches auf gleiche Weise berechnet

$$\frac{15,423}{35,99 \times 72,415} = 0°,00591778$$

als den Ueberschufs der Temperatur giebt, um welchen unter diesen Bedingungen 1 Liter Luft das Calorimeter 1° C. erwärmen würde. Nimmt man das Verhältnifs beider Gröfsen

$$\frac{0,0071274}{0,00591778} = 1,20441,$$

so zeigt dieses das Verhältnifs der Wärmemenge, welche durch die nämliche Quantität Luft unter übrigens gleichen Bedingungen entwickelt werden, wenn ihre Dichtigkeiten sich wie

$$\frac{1,0058}{0,7405} = 1,35827$$

zu einander verhalten. Eine folgende Reihe von Versuchen gab als Mittel 1,2396 statt 1,20441, und da diese Gröfse für weit genauer zu halten ist, als die früher gefundenen, so behielten sie dieselbe allein bei, und hiernach giebt also eine Vermehrung der Dichtigkeit der Luft um 0,35827 eine Vermehrung der Wärme = 0,2396. Wenn demnach ein Volumen Luft unter dem Drucke p eine Menge Wärme = C entwickelt,

welche nach den Graden gemessen wird, wozu sie das Calorimeter über die Temperatur seiner Umgebung erhöht, und C (1 + z) die Zahl der Grade ausdrückt, die das nämliche Volumen unter gleichen Bedingungen, aber unter dem Druck p′ erzeugt, so kann man annähernd das Verhältniſs als richtig annehmen, wonach

$$0{,}35827 : 0{,}2396 = \frac{p' - p}{p} : z,$$

also

$$z = 0{,}2396\ \frac{p' - p}{p \cdot 0{,}35827}$$

ist. Delaroche und Bérard konnten dieses um so mehr als richtig annehmen und bei der Berechnung ihrer Versuche zum Grunde legen, als sie stets mit Gasarten unter atmosphärischem Drucke operirten, wobei also die Unterschiede der Pressungen nur unbedeutend waren. Bei den Reductionen konnte auſserdem die Voraussetzung, daſs die specifische Wärme der Gasarten unter gleichem Drucke sich stets gleich sey, keine bedeutenden Fehler herbeiführen, weil die Temperaturen, welche das Calorimeter erhielt, wenig von einander verschieden waren; auch konnten sie aus gleichen Gründen die nämlichen Reductionen auf alle von ihnen untersuchten Gasarten anwenden.

Nach diesen Grundsätzen wurden die in der Tabelle enthaltenen Gröſsen corrigirt, um die specifische Wärme der untersuchten Gase zu finden, wie sie durch die in der letzten Columne befindlichen Unterschiede der Wärme des Calorimeters über die äuſsere Umgebung gegeben wird, die durch gleiche Mengen jeder Gasart unter gleichem Drucke und bei gleichen Temperaturen erzeugt war. Um das Verhältniſs der specifischen Wärmen verschiedener Gasarten unter einander zu erhalten und sie namentlich auf die der Luft zu reduciren, nimmt man diese letztere als Einheit und dividirt ihre Gröſse in die der übrigen, wodurch ihr Verhältniſs für gleiche Volumina unter gleichem Drucke gegeben wird; wenn man aber diese Gröſsen durch das specifische Gewicht der Gase dividirt, das der atmosphärischen Luft als Einheit genommen, so erhält man ihre specifische Wärme für gleiche Massen, d. h. die Wärmemengen, welche gleiche Gewichte der Gasarten unter gleichem Drucke und durch Herabgehn von gleich höheren

zu gleich niedrigern Temperaturen abgeben würden. Beide Gröſsen enthält die nachfolgende Tabelle.

| Gasart. | Specifische Wärme der Volumina | Specifische Wärme der Gewichte |
|---|---|---|
| atmosphärische Luft | 1,0000 | 1,0000 |
| Wasserstoffgas . . | 0,9033 | 12,3401 |
| Kohlensäure . . . | 1,2583 | 0,8280 |
| Sauerstoffgas . . . | 0,9765 | 0,8840 |
| Stickgas . . . . . | 1,0000 | 1,0318 |
| Stickstoffoxydul . | 1,3503 | 0,8875 |
| ölerzeugendes Gas | 1,5530 | 1,5763 |
| Kohlenoxydgas . . | 1,0340 | 1,0805 |
| Wasserdampf . . . | 1,9600 | 3,1360 |

387) Weil das Calorimeter während der Zeit, in welcher es die Wärme aufnimmt, zugleich auch einen Theil an die Umgebung verliert, so suchten Delaroche und Bérard den Einfluſs dieses Hindernisses zu beseitigen, indem sie die von Rumford [1] befolgte Methode anwandten und das Calorimeter vorher um ebenso viele Grade über die Temperatur der Umgebung kälter nahmen, als es nachher wärmer wurde, gleiche Zeitdauer für beide Unterschiede genommen, damit das Calorimeter in der ersten Hälfte der Zeit ebenso viel Wärme aufnehmen möchte, als es in der zweiten abgab. Sie bestimmten daher für den gesammten Temperaturunterschied des Calorimeters 4° C., erkälteten dann dasselbe bis 5° oder 6° unter die Temperatur der Umgebung, und wenn es so weit erwärmt war, daſs seine Temperatur noch 2° C. weniger, als die der Umgebung betrug, machten sie den Anfang des Versuches, und setzten ihn so lange fort, bis es 2° C. über die Temperatur der Umgebung erwärmt war, maſsen die Menge der Gasart, welche durch das Calorimeter geströmt war, brachten die nämlichen Correctionen bei dieser zweiten Versuchsreihe an, wie bei der ersten, und erhielten dann folgende specifische Wärmen nach dem Volumen, die zur besseren Vergleichung mit der in der ersten Versuchsreihe gefundenen Gröſsen zusammengestellt sind.

1 Vergl. G. XLIV. 8 und §. 376.

| Gasarten. | Specifische Wärme erste Reihe | Specifische Wärme zweite Reihe |
|---|---|---|
| atmosphärische Luft | 1,0000 | 1,0000 |
| Wasserstoffgas . . | 0,9033 | 0,8930 |
| Kohlensäure . . . | 1,2583 | 1,3110 |
| Sauerstoffgas . . . | 0,9765 | 0,9740 |
| Salpetergas . . . . | 1,3503 | 1,3150 |
| ölerzeugendes Gas | 1,5530 | 1,6800 |
| Kohlenoxydgas . . | 1,0340 | 0,9830 |

Die Werthe in beiden Reihen stimmen genau genug überein, jedoch geben die Experimentatoren der ersteren den Vorzug.

388) Um die specifische Wärme des Wasserdampfes aufzufinden, bedienten sich Delaroche und Bérard einer indirecten Methode, indem sie zwei vergleichbare Versuche, den einen mit trockner Luft, den andern mit solcher anstellten, die mit Wasserdampf gesättigt war. Um die Luft möglichst von Wasserdampf zu befreien, liefsen sie dieselbe durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr streichen, welches durch eine umgebende kaltmachende Mischung auf — 15° C. erhalten wurde und daher den niedergeschlagenen Wasserdampf aufnahm, wonach sie bis auf die Kleinigkeit des dann noch vorhandenen Dampfes als ganz trocken zu betrachten war, ehe sie erwärmt und dem Calorimeter zugeführt wurde. Für den hiermit zu vergleichenden Versuch sättigten sie die durch heifses Wasser streichende Luft mit Wasserdampf und liefsen sie durch ein gewundenes Rohr strömen, welches auf der bleibenden Wärme von 39° C. erhalten wurde, damit sie allen über diese Temperatur hinausgehenden Dampf absetzen möchte. Es war dann erforderlich, dafs diese Luft nicht unter 39° erkaltet wurde, um nicht eine Quantität Dampf niederzuschlagen und dadurch Unrichtigkeiten herbeizuführen, weswegen die äufsere Temperatur auf 30° erhalten wurde. Die bis 39° abgekühlte Luft wurde auf die angegebene Weise erhitzt, trat 97°,3 warm in das Schlangenrohr des Calorimeters und strömte 41°,3 warm wieder aus, wonach sie 56° Wärme verlor. Das Calorimeter kam zur stationären Wärme bei 41°,3 in einer Umgebung von 29°,8, und es waren sonach 11°,5 Wärme oder nach Abzug

von 2°, die durch das Zuleitungsrohr hervorgebracht waren, 9°,5 Wärme erzeugt. Die trockne Luft dagegen verlor 56°,9 Wärme im Calorimeter, und brachte dieses zur constanten Temperatur von 40°,4, während die Umgebung gleichfalls 29°,8 betrug. Hierbei waren also nach Abzug von gleichfalls 2° C. für die Zuleitungsröhre 8°,6 oder nach der Reduction der 56°,9 auf 56° nur 8°,4 Wärme erzeugt, welche von der für die feuchte Luft gefundenen Gröſse = 9°,5 abgezogen für die Wirkung des Wasserdampfes 1°,1 geben. Um das Volumen des Wasserdampfes auf den Luftdruck zurückzuführen, bedienten sie sich folgenden Verfahrens. Der Luftdruck war 0,7596 Meter, die Elasticität des Wasserdampfes bei 39° C. setzten sie nach Dalton = 0,0505 Meter, welches das Verhältniſs von 15 : 1 giebt. Hiernach war die Wirkung des Wasserdampfes = 16°,5, die der trocknen Luft = 8°,4, und sonach ist das Verhältniſs ihrer specifischen Wärmen für Wasserdampf dem Volumen nach = 1,96, dem Gewichte nach = 3,136.

389) Um die specifische Wärme der Gase mit der den sonstigen Körpern zugehörigen vergleichbar zu machen, war erforderlich, sie auf die des Wassers zu reduciren. Zu diesem Ende lieſsen sie heiſses Wasser auf ähnliche Weise, als vorher die Luft, durch das Calorimeter strömen, maſsen dessen Temperatur beim Eintritte in das Schlangenrohr und beim Austritte aus demselben, und fanden, daſs, wenn 37,75 Gramm Wasser binnen 10 Minuten durchströmten und dabei 29°,072 C. Wärme verloren, das Calorimeter bei einem Ueberschuſs von 20°,713 über die umgebende Luft zum bleibenden Stande kam. Wird dieses Resultat mit dem durch atmosphärische Luft erhaltenen verglichen, so ergiebt sich, die specifische Wärme des Wassers als Einheit genommen, die der Luft = 0,2460. Ein zweiter Versuch gab 0,2536 und das Mittel aus beiden 0,2498.

Nach einer hiervon verschiedenen Methode fanden sie das gesuchte Verhältniſs aus dem Wärmeverluste des Calorimeters durch Strahlung. Es war hierbei die Menge des im Calorimeter enthaltenen Wassers = m bekannt, wozu aber die Masse des Gefäſses, auf Wasser reducirt, genommen werden muſs. Letzteres bestand aus Kupfer und dem zum Löthen verwandten Metalle. Die specifische Wärme des Kupfers ist nach Crawford 0,112 und die der Löthung, bestehend aus Zinn und

Blei, die mittlere zwischen beiden Metallen, also 0,038. Hiernach läfst sich die Masse des Wassers für sich und mit Einschlufs des Gefäfses bestimmen und ist $= m + \mu$; in diesem Falle also = 596,8 Gramm. In dem einen Versuche mit Luft ergab sich, dafs 35,99 Liter atmosphärische Luft, auf 0° C. reducirt und unter einem Drucke von 0,7405 Meter Quecksilberhöhe bis 100° C. erhitzt und sich um 72°,415 C. abkühlend, binnen 10 Minuten das Calorimeter auf den bleibenden Ueberschufs von 15°,734 C. über die Temperatur der Umgebung brachten, woraus also folgt, dafs die durchströmende Luft dem Calorimeter ebenso viel Wärme zuführte, als dasselbe durch Ausstrahlung verlor. Um die Menge der ausströmenden Wärme zu bestimmen, durften die Experimentatoren nur den Luftstrom unterbrechen und das Calorimeter frei erkalten lassen, hierbei das Gesetz der Abkühlung beobachten, hieraus die logarithmische Curve, welche das Gesetz der Abkühlung darstellt, und somit die anfängliche Geschwindigkeit des Erkaltens auffinden. Wählt man hierbei die Art, wie Biot das durch Rumford gefundene Gesetz des Erkaltens dargestellt hat (§. 241), und nennt man $(y) + T$ die anfängliche Temperatur des Calorimeters, worin $(y)$ die Temperatur der umgebenden Luft bezeichnet, und wird angenommen, dafs in einer Zeit $t$, in Minuten ausgedrückt, die erste dieser Temperaturen $= (y) + y$ geworden sey, so ist das Gesetz der Abkühlung

$$\text{Log.}\, y = \text{Log.}\, T - \frac{a}{M} t.$$

Hierin bezeichnet $M$ den Modulus der gemeinen Logarithmen $= 2{,}302585$ und $a$ drückt die Gröfse der Erkaltung während der Einheit der Zeit aus oder die Zahl der Grade, welche die Abkühlung einem Körper nehmen würde, wenn man ihn während dieser Zeit bei einer um 1° C. höheren Temperatur, als die der Umgebung erhielte. Diese Gröfse bleibt der Natur der Sache nach während der ganzen Dauer des Erkaltens sich gleich. Soll aber die Wirkung auf die anfängliche Temperatur $T$ gefunden werden, so mufs man den Werth von $aT$ suchen. Diesen findet man vermittelst der Formel:

$$aT = \frac{MT\,(\text{Log.}\, T - \text{Log.}\, y)}{t},$$

und er wird bekannt seyn, sobald man aufser der anfänglichen Temperatur T noch einen einzigen Werth von y kennt, welcher während der Zeit t durch Beobachtung erhalten ist. Bei dem angegebenen Versuche mit atmosphärischer Luft fanden Delaroche und Bérard den Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters über die äufsere Umgebung oder T = 15°,734 und bei der nachfolgenden Beobachtung, indem das Calorimeter nach aufhörender Strömung der Luft erkaltete, verlor es binnen 20 Minuten 12°,847 C. Hiernach ist also t = 20 Min.; y = 12°,897, demnach a = 0°,0101356 und aT = 0°,159474. Ist hiernach die Zahl der Grade bekannt, welche die atmosphärische Luft dem Calorimeter in 1 Minute mittheilte, so giebt dieses für 10 Minuten 1°,59474. Ein zweiter Versuch gab nahe übereinstimmend 1°,5996. Es wogen aber die im Versuch gebrauchten 35,99 Liter Luft zusammen 45,49 Gramm, und diese übten ihre Wirkung aus auf die so eben gefundenen 596,8 Gramm Wasser, indem sie um 72°,415 C. erkalteten. Hiernach ist also das Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft zu der des Wassers

$$\frac{596{,}8 \times 1{,}5996}{45{,}49 \times 72{,}415} = 0{,}2898.$$

Auf eine dritte directe Weise fanden sie diese Gröfse aus einem der mit erhitzter Luft angestellten Versuche, wobei 83,2 Liter oder 108,32 Gramm atmosphärische Luft, unter 0,760 Meter Druck und bei 0° C. Wärme genommen, durch Abgeben von 85° C. Wärme das Calorimeter, welches 580 Gramm Wasser enthielt, um 4° C. erwärmten. Hieraus ergiebt sich die specifische Wärme der atmosphärischen Luft gegen die des Wassers = 0,2697. Aus allen erhaltenen Resultaten nahmen sie im Mittel 0,2669. Werden hiermit die oben angegebenen Gröfsen multiplicirt, so erhalten wir die specifische Wärme der Gase auf die des Wassers reducirt, wie sie die nachfolgende Tabelle angiebt.

| Substanzen | spec. Wärme | Substanzen | spec. Wärme. |
|---|---|---|---|
| Wasser . . . . . . | 1,0000 | Stickgas . . . . . . | 0,2754 |
| atmosphärische Luft | 0,2669 | Salpetergas . . . . | 0,2369 |
| Wasserstoffgas . . | 3,2936 | ölerzeugendes Gas | 0,4207 |
| Kohlensäure . . . | 0,2210 | Kohlenoxydgas . . | 0,2884 |
| Sauerstoffgas . . . | 0,2361 | Wasserdampf . . . | 0,8470 |

390) Gegen diese ausnehmend schätzbaren und immer noch als ein Muster vorzüglicher Genauigkeit dienenden Versuche machte W. T. Haycraft[1] einige Einwendungen, vorzüglich die, dafs sie unter sehr verschiedenen Bedingungen angestellt wurden und daher mehrere zusammengesetzte Correctionen bedurften, hauptsächlich aber, dafs die Gase vorher nicht ausgetrocknet waren, weswegen die erhaltenen Resultate nur einem Gemenge von Gas und Wasserdampf zugehörten. Der erste Einwurf fällt von selbst weg, denn die verschiedenen Einflüsse sind allerdings beachtet und corrigirt, was zwar Mühe verursacht, aber der Genauigkeit keinen Abbruch thut. Der zweite ist allerdings gegründet, aber die hieraus erwachsenden Fehler sind durchaus nicht bedeutend; denn die Gase waren in den Gasometern, wo sie mit Wasser in Verbindung standen, von niedriger Temperatur, enthielten also nicht viel Wasserdampf und nahmen nachher keinen mehr auf, wie Haycraft vorauszusetzen scheint; aufserdem aber sind die erhaltenen specifischen Wärmen blofs relativ, so dafs sich der Einflufs des Wasserdampfes, der bei allen Gasen vorhanden war, gegenseitig aufhebt, aufser bei der Vergleichung der trocknen atmosphärischen Luft mit solcher, die mit Wasserdampf gesättigt war. Eben durch diesen Versuch lernten aber Delaroche und Bérard die specifische Wärme der trocknen Luft kennen, und der ohnehin nicht absolut genaue, aus mehreren Versuchen gefundene Factor, wodurch die specifischen Wärmen der Gase auf die des Wassers reducirt werden, ist so gewählt, dafs dadurch der durch beigemischten Wasserdampf erzeugte Fehler ein Minimum wird. Gegen Crawford's Versuche gilt der allerdings gegründete, von ihm gleichfalls gemachte Einwurf, dafs die verwandten Quantitäten der Gase zu gering waren.

1 Edinb. Phil. Trans. T. X. p. 195. Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 298. G. LXXVI. 289.

Inzwischen liefs sich HAYCRAFT hierdurch bestimmen, eine Reihe von Versuchen anzustellen. Die Construction des von ihm gebrauchten Apparates läfst sich dem Wesen nach leicht verständlich machen. Um die zu untersuchenden Gase mit atmosphärischer Luft zu vergleichen, wählte er zwei ganz gleiche Stiefel, in welche zugleich atmosphärische Luft und die gewählte Gasart, beide durch Röhren, mit salzsaurem Kalk gefüllt, zum Trocknen durchströmend, mit einem Embolus eingesogen und dann in die Erwärmungsröhren geprefst wurden, von wo aus jede derselben gleichmäfsig erwärmt in das Schlangenrohr eines besonderen Calorimeters gelangte. Da beide Emboli gleichzeitig bewegt wurden und beide Stiefel gleichen Inhalt hatten, so waren auch beide Gasmengen einander gleich und ihre absolute Menge liefs sich aus den Dimensionen der Stiefel finden. Die Verbindungsröhren zwischen dem Heizapparate, worin beide Gase neben einander gleichmäfsig erhitzt wurden, und den Schlangenröhren der Calorimeter waren nur einen Zoll lang und ein in sie gesenktes feines Thermometer diente zum Messen der Temperatur beim Eintritt, so wie ein zweites die Temperatur des Gases bei seinem Austritt aus dem Calorimeter bestimmte; beide hatten Grade nach Fahrenheit, die wieder in 5 Theile getheilt waren, und da man den vierten Theil derselben schätzen konnte, so gaben sie Zwanzigstel dieser Grade an. Die Calorimeter standen in blanken Metallgefäfsen, und letztere standen noch obendrein in Wasser, um den Einflufs der Umgebung zu vermeiden. Dieser wurde aber noch aufserdem dadurch beseitigt, dafs nach RUMFORD's[1] Vorschlage die Calorimeter vor dem Versuche ebenso tief unter die mittlere Temperatur erkaltet wurden, als sie nach dem Versuche über dieselbe hinausgingen. Sollte endlich in den einen, nicht für atmosphärische Luft bestimmten, Stiefel die zu untersuchende Gasart gebracht werden, so durfte man denselben nur durch Aufziehn des Embolus damit füllen; HAYCRAFT zog aber vor, den Stiefel durch eine Luftpumpe zu exantliren, die dann einströmende Gasart durch Niederdrücken des Embolus aus einer durch einen Hahn verschlossenen, kleinen Hülfsröhre entweichen zu lassen, dieses einige Male zu wiederholen und dann den Versuch zu beginnen, wobei sich zeigte, dafs dann das

1 G. XLIV. 8.

Gas beinahe dieselbe Reinheit hatte, als das in den Gasometern. Sofern hiernach alle Bedingungen für die zwei gleichzeitig angewandten Gasarten einander gleich waren, so gab die Wärme der Calorimeter unmittelbar das Verhältnifs ihrer specifischen Wärmen. Der Inhalt eines jeden Stiefels betrug 12 Kubikzoll, die Bewegungen der Emboli wurden nach einer Uhr regulirt und wiederholten sich 120mal in einer Minute, wonach die absolute Menge der während einer Minute durchströmenden Gasart 1440 Kubikzoll betrug, obwohl es unnöthig war, diese absolute Menge in Rechnung zu bringen.

391) Um die Genauigkeit des gewählten Apparates und der beabsichtigten Methode zu prüfen, stellte Haycraft einige vorläufige Versuche an, indem er in beide Stiefel atmosphärische Luft strömen liefs und diese dann durch die Heizröhren und die Calorimeter trieb. Da der Unterschied nicht mehr, als 0°,05 F. betrug, so hielt er sich von der Genauigkeit der zu erwartenden Resultate überzeugt und begann die Versuche selbst. Fünf Versuche gaben die specifische Wärme der Kohlensäure = 0,9730; 0,9919; 1,0035; 1,0021; 1,0000, die der atmosphärischen Luft = 1,0000 gesetzt, die drei letzten Versuche für sich aber geben im Mittel 1,0019 und dieses scheint ihm das Richtigste zu seyn, indem er glaubt, die Gasart sey in den beiden ersten nicht genug von Wasserdampf befreit gewesen. Zwei Versuche mit Sauerstoffgas ergaben mit geringer Abweichung die specifische Wärme desselben der der atmosphärischen Luft vollkommen gleich. Ebendieses war der Fall beim Wasserstoffgas aus Zink und Schwefelsäure. In zwei Versuchen fand Haycraft dieselbe im erstern 0,9222, was er dem Einflusse des noch darin vorhandenen Wasserdampfes beimifst, im zweiten dagegen, insbesondere gegen das Ende desselben, als das Gas länger mit dem salzsauren Kalke in Berührung gewesen und dadurch mehr ausgetrocknet war, fand er dessen specifische Wärme genau so, wie die der atmosphärischen Luft. Das Stickgas zeigte in zwei Versuchsreihen, deren zweite nach Verlauf eines ganzen Jahres der ersten folgte, genau dieselbe specifische Wärme, als atmosphärische Luft. Zu den Versuchen mit Kohlenwasserstoffgas dienten anfangs die im Grofsen bereiteten Leuchtgase, und es ergab sich, dafs die specifischen Wärmen derselben ausnehmend variirten, was jedoch eine Folge des ihnen beigemengten empyrheumatichen Dampfes

seyn soll. Zwei Versuche mit Gas aus vegetabilischem Oele gaben die specifische Wärme im Mittel = 1,0559, ein dritter mit Gas aus Hammelfett gab 1,2777, zwei folgende mit Gas aus Alkohol und Schwefelsäure gaben im Mittel 1,0658. Um auf directem Wege zu ermitteln, ob Aetherdämpfe die Erhöhung der specifischen Wärme herbeiführten, brachte HAYCRAFT in das eine Gasometer, worin sich atmosphärische Luft befand, einige Tropfen Schwefeläther, um mit diesem und zugleich mit Kohlenwasserstoffgas einen vergleichbaren Versuch anzustellen. Beide Calorimeter zeigten sich völlig übereinstimmend, woraus er also schliefst, dafs die Aetherdämpfe in der atmosphärischen Luft auf gleiche Weise sich wirksam bewiesen, als die empyrheumatischen Dämpfe im Kohlenwasserstoffgas, deren Anwesenheit darin er voraussetzt. Aus allen Versuchen folgt also, dafs die specifischen Wärmen der Gase sich umgekehrt verhalten, wie ihre specifischen Gewichte oder wie ihre Dichtigkeiten, sofern gleiche Volumina ungleich dichter Gasarten den Calorimetern gleiche Wärmemengen abgaben, ihre Massen aber der Natur der Sache nach ihren Dichtigkeiten proportional seyn mufsten. Abweichungen von diesem Gesetze sollen Folgen beigemischter Dämpfe seyn.

392) Zu denjenigen Physikern, die bald nach CRAWFORD die specifische Wärme der Gasarten aufzufinden sich bemühten, gehört auch GAY-LUSSAC. Zuerst suchte er diese Gröfse aus den Wärmemengen zu bestimmen, die durch Verdichtung und Verdünnung der Gase frei oder gebunden werden[1], allein die hierbei erhaltenen Resultate, so schätzbar auch die Versuche in anderer Beziehung sind, haben gegenwärtig nicht mehr genügende Wichtigkeit, um eine ausführliche Erörterung zu verdienen. Von der Zeit an war indefs sein Augenmerk fortwährend auch auf dieses Problem gerichtet und er entschlofs sich daher zu einer neuen Reihe von Versuchen[2]. Dafs die Wärmecapacitäten der verschiedenen Gase ungleich seyn müfsten, schlofs er aus der ungleichen Ausdehnung, welche sie im Eudiometer erhalten. Wenn er nämlich gleiche Quantitäten Knallgas im Eudiometer verbrannte, wodurch also eine gleiche Wärme erzeugt wurde, so fand er, dafs gleiche Mengen überflüssig

---

1 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 181. G. XXX. 249.
2 Ann. de Chimie. T. LXXXI. p. 98. G. XLV. 321.

darin enthaltenen Wasserstoffgases weniger ausgedehnt wurden, als gleiche Menge zugesetzten Sauerstoffgases, woraus er schloſs, daſs die Wärmecapacität des ersteren Gases gröſser seyn müsse. Diese Versuche stellte er an, indem er die Gase durch Wasser in die Eudiometerröhre aufsteigen lieſs, dann dieselbe aus der Wasserwanne in eine Quecksilberwanne brachte, dabei für gleich tiefes Eintauchen sorgte, dann das vorhandene Knallgas verbrannte und beobachtete, wie viel Maſs ausgetrieben und durch eingedrungenes Quecksilber ersetzt war. Es versteht sich aber von selbst, daſs diese Messungen zu unvollkommen waren, als daſs sie dem Experimentator genügen konnten. Gay-Lussac wählte daher eine andere, früher nicht angewandte Methode. Er argumentirte, daſs zwei Gase von gleichen Wärmecapacitäten, wenn sie bei ungleichen Temperaturen vereint werden, die mittlere Wärme beider annehmen müssen, was aber bei ungleichen Capacitäten der Fall nicht seyn kann. Man übersieht bald, daſs diese Methode genau die der Mischungen ist. Zu den Versuchen nahm er zwei Gasometer, in denen die zwei Gase gesperrt waren, bewerkstelligte, daſs in beide in gleichen Zeiten gleiche Mengen Wasser flossen, mithin gleiche Mengen jedes Gases ausströmten, leitete dann beide durch Zwischenröhren mit salzsaurem Kalke, um sie auszutrocknen, und vereinigte sie in einer weiten Röhre, worin sich ein Thermometer befand. Die eine Gasart wurde durch eine kaltmachende Mischung ebenso tief unter die Temperatur der Umgebung erkältet, als die andere über dieselbe erwärmt, so daſs sie vereint einen Unterschied = 0 über oder unter die Umgebung zeigen muſsten. Bei den Probeversuchen mit ungleich erwärmter atmosphärischer Luft gebrauchte Gay-Lussac noch die Vorsicht, daſs er die Gasometer verwechselte und bald das eine, bald das andere für heiſse oder kalte Luft bestimmte; in allen Fällen aber war das Resultat = 0 und die Methode zeigte sich daher hierdurch als zweckmäſsig. Ebenso verfuhr er auch bei den Mengungen von Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft, womit er 12 Versuche anstellte, mit den übrigen Gasarten aber stellte er nur vier Versuche an, und nie wichen die Resultate um mehr als 0°,5 C. von einander ab. Die mittleren gefundenen Werthe sind in folgender Uebersicht enthalten, wobei die Temperaturen Grade über oder unter der der Umgebung bezeichnen.

| Temperaturen vor der Mengung | | Temperaturen nach der Mengung |
|---|---|---|
| kohlensaures Gas | — 24° | 0°,4 |
| atmosphärische Luft | + 25,5 | |
| Wasserstoffgas | + 23 | 0,2 |
| kohlensaures Gas | — 23 | |
| Wasserstoffgas | — 22 | 0,0 |
| atmosphärische Luft | + 22 | |
| atmosphärische Luft | + 22 | 0,8 |
| Sauerstoffgas | — 21 | |
| atmosphärische Luft | — 21 | 0,4 |
| Stickgas | + 21 | |

Aus diesen Resultaten folgerte Gay-Lussac, dafs die specifischen Wärmecapacitäten der Gase, und daher auch aller expansibeln Flüssigkeiten, bei gleichem Volumen und unter gleichem Drucke einander gleich seyen; inzwischen spricht er diesen Satz nicht als einen wohl begründeten aus, sondern sagt blofs, derselbe scheine richtig zu seyn. Fortgesetzte Versuche[1] ergaben auch bald, dafs dieses Gesetz insofern unstatthaft sey, als sich die Wärmecapacitäten allerdings mit den Temperaturen ändern, was sich gerade hierbei zeigen mufste; der Fehler aber hatte seinen Grund in der zu geringen Menge der zu den Versuchen verwandten Gase. Gay-Lussac nahm daher später grofse Gasometer, deren jedes 80 Liter Inhalt hatte, und da beide gleich grofs waren, so liefs sich das gleichzeitige Ausströmen gleicher Mengen Gas dadurch leicht erreichen, dafs beide mit einem Verbindungsrohre verbunden wurden, um das in sie einfliefsende, die Gasart austreibende Wasser in beiden auf gleichbleibender Höhe zu erhalten.

393) Uebergehn wir die mit der vorliegenden Aufgabe im nahen Zusammenhange stehenden Versuche von Dulong und Petit über das ungleiche Erkalten der Körper in verschiedenen Gasen, woraus die specifischen Wärmecapacitäten der letzteren sich ableiten liefsen, deren wesentlicher Inhalt oben (§. 247) bereits mitgetheilt worden ist, so verdienen vorzüglich die Untersuchungen von Marcet und Delarive[2] hier erwähnt zu wer-

1 Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 106. G. XLVIII. 395.

2 Biblioth. univ. 1827. Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 1. Poggendorff's Ann. X. 363. Mém. de la Soc. de Phys. de Génève. T. IV. p. 255.

den. Bei voller Anerkennung des hohen Werthes der Versuche von Delaroche und Bérard stellen sie mehrere Einwürfe dagegen auf, die zum Theil nicht ungegründet sind. Nach ihrer Ansicht gaben die Gase bei dem von jenen gewählten Verfahren nicht bloſs ihre specifische Wärme an das Calorimeter ab, sondern auch diejenige, die ihre Ausdehnung bewirkte, was zwar bei festen und tropfbar flüssigen Körpern wegen ihrer geringen Ausdehnung nicht bedeutend seyn soll, wohl aber bei den sehr ausdehnsamen Gasen[1]. Es läſst sich jedoch auf diesen Einwurf erwidern, daſs man bei allen Körpern gerade das Verhältniſs der Wärmequantitäten sucht, welches eine Erhöhung ihrer Temperatur und die damit nothwendig verbundene Volumensvermehrung bedingt. Zweitens geben die verschiedenen Gase in schnellerer oder kürzerer Zeit ihre Wärme sowohl an die zum Calorimeter leitende Röhre, als auch an das Wasser des Calorimeters ab; allein auch hier läſst sich entgegnen, daſs zuerst nicht die an die Zuleitungsröhre leichter oder schwerer abgegebene, sondern bloſs die von dieser ausgestrahlte Wärme in Betrachtung kommt, die bei allen Gasen durch die Beschaffenheit der Röhre bedingt, mithin gleich war, und daſs zweitens in Beziehung auf das Calorimeter, ohne die Zeitdauer der Versuche zu berücksichtigen, bloſs die ihm mitgetheilte Wärme und der Unterschied der Temperaturen der Gase beim Eintritt und Austritt derselben berücksichtigt wurden. Allerdings wächst die Menge der von den Wandungen des Calorimeters ausstrahlenden Wärme durch die längere Zeitdauer, allein der hierdurch mögliche Fehler wurde mindestens bis auf eine verschwindende Gröſse dadurch vermieden, daſs das Calorimeter das Maximum seiner Temperatur annehmen muſste. Gegründeter ist wohl ein dritter Einwurf gegen die genaue Bestimmung der Temperatur der einströmenden Gase, welche Delaroche und Bérard als die mittlere zwischen derjenigen annahmen, welche dieselben im Heizapparate erhielten und welche das Thermometer zeigte, indem letzteres noch anderweitigen Bedingungen, namentlich der Strahlung, unterworfen war. Ob daher die angenommene mittlere Wärme wirklich die genau richtige war, ist keineswegs über jeden Zweifel erhaben, und es läſst sich daher nicht in Abrede stellen, daſs

1 Eine nähere Erörterung dieses Problems s. in §. 403.

hieraus allerdings Unrichtigkeiten erwachsen konnten. Ein vierter Einwurf, aus dem in den Gasen enthaltenen Wasserdampfe hergenommen, ist oben (§. 390) bereits gewürdigt worden, und auch dieser, wenn gleich von nicht sehr grofser Bedeutsamkeit, läfst sich nicht ganz beseitigen. Minder erheblich möchte endlich fünftens seyn, dafs nicht alle Bedingungen bei den sämmtlichen Versuchen völlig gleich waren, denn hierauf ist durch die zahlreichen Correctionen möglichste Rücksicht genommen.

Marcet und Delarive wählten zu ihren Versuchen einen 4 Centimeter im Durchmesser haltenden Ballon von sehr dünnem Glase, füllten ihn mit dem zu untersuchenden Gase, brachten ihn auf eine bestimmte Temperatur, setzten ihn während einer genau gemessenen Zeit einer Wärmequelle aus und mafsen die dadurch erzeugte Temperatur durch die vermehrte Elasticität des Gases selbst, wobei sie Sorge trugen, dafs die Zeit des Erwärmens stets nur kurz war und daher keine Gasart sich mit der Temperatur der Wärmequelle ins Gleichgewicht setzen konnte. Der Apparat bestand aus dem genannten
Fig. 63. Ballon A, welcher zum Einfüllen des Gases diente; die beiden eisernen Hahne B und C gestatteten, den Ballon von der Röhre abzuschliefsen, ohne dafs die äufsere Luft in diese oder in den Ballon dringen konnte; das Zwischenstück zwischen beiden hatte aber eine so kleine Oeffnung, dafs die darin befindliche Menge von Luft nicht in Betrachtung kommen konnte, um so mehr, als sie nie in den Ballon drang, sondern stets in die Röhre getrieben wurde. Der verticale Arm der Verbindungsröhre DE tauchte mit seinem unteren Ende in das trockne Quecksilber des Gefäfses F; zum Messen der Höhe der aufsteigenden Quecksilbersäule diente die in Millimeter getheilte und mit einem Nonius zum Ablesen der Zehntel versehene Scale. Für jeden Versuch wurden der Ballon und die Röhre mit der zu prüfenden Gasart gefüllt. Bei der Röhre geschah dieses leicht, indem man einen Strom des Gases durch dieselbe trieb, bis die atmosphärische Luft entwichen war; es mufste aber zugleich dafür gesorgt werden, dafs das Quecksilber wenigstens 8 bis 10 Centimeter in der Röhre aufgestiegen war. Der Ballon wurde zuerst mittelst einer Luftpumpe evacuirt, dann wiederholt mit der erforderlichen Gasart gefüllt und wieder evacuirt, um hierdurch die letzten Antheile der früher darin

befindlichen Gasart zu entfernen, und nach der letzten Füllung reines Gas darin zu haben. Der Ballon wurde dann an die Röhre geschraubt, nach dem Oeffnen beider Hahne mufste aber das in der Röhre DE aufgestiegene Quecksilber etwas herabsinken, was dadurch zu erreichen war, dafs das Gas in der Kugel eine wenig gröfsere Elasticität hatte, als in der Röhre. Auf diese Weise war es möglich, stets mit Gasen unter gleichem Drucke von nahe 0,63 Meter Quecksilberhöhe zu experimentiren. Durch Temperaturänderung mufste auch das Volumen der Gasart sich verändern, und es war leicht, die erstere aus dem letzteren zu entnehmen, wobei die bekannten Bestimmungen von Gay-Lussac zum Grunde lagen. Heifst nämlich l die Gröfse eines jeden Centesimalgrades für einen gegebenen Druck, n die Anzahl von Centesimalgraden, die einem gegebenen Unterschiede in der Höhe der Quecksilbersäule entspricht, p die Barometerhöhe, t die Temperatur, wobei man beobachtet, a die Höhe der Säule bei der Temperatur t, a' die Höhe derselben bei der unbekannten Temperatur, so ist

$$l = \frac{(p - a)(0,00375)}{1 + 0,00375\,t}$$

$$n = \frac{(a - a')(1 + 0,00375\,t)}{(p - a)(0,00375)}.$$

Die Scale erlaubte Zehntel eines Millimeters genau abzulesen, und bei dem Drucke, welcher für die Versuche gewählt worden war, entsprach jeder Centesimalgrad ungefähr einer Aenderung der Quecksilberhöhe von 2,5 Millimeter, so dafs also noch 0°,04 C. wahrgenommen werden konnte. Diese Methode, die Temperatur der Gase durch ihre eigene Ausdehnung zu messen, hat entschiedene Vorzüge, und da aufserdem das Volumen der Gase stets unter gleichem Drucke war, also keiner Correction deswegen bedurfte, jede Gasart aber vorher völlig ausgetrocknet wurde, so beruhn hierauf unverkennbare Vorzüge der hier gewählten Methode des Experimentirens. Ein wesentlicher Umstand war aber die Erwärmung des Ballons, und hierzu dienten zwei Verfahrungsarten.

394) Bei der ersten Versuchsreihe senkten Marcet und Delarive die Kugel in ein kleines hölzernes Gefäfs mit dicken Wandungen, worin Wasser genau auf einer Temperatur von 10° C. erhalten wurde, und liefsen sie so lange darin, bis sie

diese Wärme genau und allgemein angenommen hatte, was sich durch bleibendes Stillstehn der Quecksilbersäule in der Röhre DE zeigte. Das kleine Wassergefäfs, welches in einem weit gröfseren, mit etwas über 30° C. warmem Wasser gefüllten Gefäfse hing, und dem Einflusse dieser gröfseren Wärme der Umgebung durch seine dicken hölzernen Wandungen hinlänglich lange widerstand, fiel auf ein gegebenes Zeichen plötzlich in dem gröfseren hinab, beide Wassermassen vereinigten sich, und erlangten dadurch genau die Temperatur von 30° C. Hierin blieb der Ballon eine genau gemessene Zeit von nicht mehr als 4 Secunden und nahm während derselben in einer 20° C. höheren Temperatur, als die seinige, eine gewisse Wärme an, die sich durch das Sinken der Quecksilbersäule in Folge der Ausdehnung des im Ballon enthaltenen Gases kund gab. Um aber zugleich über die Wärme des Wassers eine scharfe Bestimmung zu erhalten, wurde nicht der Stand der Quecksilbersäule, welchen sie nach Verlauf dieser 4 Secunden hatte, zur Vergleichung genommen, sondern das Verhältnifs zwischen der Zahl von Millimetern, die das Quecksilber in diesen 4 Secunden fiel, und derjenigen, die es gefallen war, wenn es sich mit der Temperatur des Wassers im Gleichgewichte befand. Zur genaueren Messung diente das Verfahren, dafs auf das erste Zeichen desjenigen, welcher das Quecksilber in der Röhre beobachtete, das kleine Wassergefäfs herabfiel, nach 4 Secunden aber wurde der Hahn des Verbindungsstückes geschlossen, um den Stand der Quecksilbersäule genau abzulesen, dann wieder geöffnet und abgewartet, bis das Quecksilber zum Stillstande kam. Wird dann die Temperatur, welche das Gas bei diesem Stillstande erlangt hatte, als Einheit angenommen, so nahmen die verschiedenen Gase in den ersten 4 Secunden folgende Temperaturen an:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wasserstoffgas . . . . | 0,85 | kohlensaures Gas . . . | 0,77 |
| atmosphärische Luft . | 0,83 | ölbildendes Gas . . . | 0,75 |
| Sauerstoffgas . . . . . | 0,80 | Stickstoffoxydul . . . | 0,73. |

Inzwischen fürchteten die Experimentatoren, dafs das ungleiche Wärmeleitungsvermögen der Gase auf diese Resultate einen störenden Einflufs äufsern möchte, und hierin wurden sie durch die Uebereinstimmung bestärkt, welche sie zwischen diesen

Resultaten und denjenigen wahrnahmen, die von Dulong und Petit beobachtet worden waren, als sie Körper in verschiedenen Gasarten erkalten liefsen (§. 247). Noch weiter ergab sich dieses, als sie ähnliche Versuche mit gröfseren Gasmengen und bei einem Temperaturunterschied von 10° bis 20° anstellten, wobei die specifische Wärme sich gleich zeigen mufste, dennoch aber die erhaltenen Resultate abweichend waren[1]. Diese Gründe bestimmten sie, eine andere Methode der Erwärmung des Ballons zu wählen.

395) Sie schlossen denselben zu diesem Ende in einen gröfseren Ballon GHK von dünnem Kupferblech ein, welcher 18 Centimeter im Durchmesser hielt, inwendig eine mit Rufs überzogene Oberfläche hatte und unten mit einem Hahnstücke versehn war, um ihn auf der Luftpumpe zu exantliren. Die Mittelpuncte beider Ballons fielen zusammen; der eingesenkte kleinere war aber oben in die Fassung des gröfseren eingeschraubt, letzerer wurde vermittelst der Luftpumpe exantlirt, bis auf 3 Millimeter Quecksilberhöhe, und es wurde Sorge getragen, dafs dieser Grad der Verdünnung sich bleibend erhielt. Ward dann der äufsere Ballon in Wasser von höherer Temperatur gebracht, so erhielt der innere blofs diejenige Wärme, welche ihm durch Strahlung der inneren Wandungen des gröfseren zuströmte, und es dauerte lange, bis das Quecksilber in der Röhre zum Stillstande kam; für die Messungen schien aber ein Zeitraum von 5 Minuten am geeignetsten. Bei jedem Versuche, nachdem der äufsere und innere Ballon gehörig vorgerichtet waren, wurde die kupferne Kugel in Wasser von 20° C. gesenkt und diese Wärme unveränderlich erhalten. Nach einiger Zeit kam das Quecksilber in der Röhre zum Stillstande und das Gas im Ballon hatte somit die Temperatur von 20° C. angenommen, worauf man den Stand des Quecksilbers aufzeichnete. Momentanes Eintauchen der kupfernen Kugel machte das Quecksilber einige Millimeter steigen, worauf dieselbe rasch

1 Es ist wohl nicht schwierig, wie Marcet und Delarive meinen, von der Art der Wärmefortpflanzung in den Gasen sich eine Vorstellung zu machen, denn diese beruht theils auf dem Uebergange der Wärme von einem Molecüle der Gasart zu einem andern und zugleich auf der Bewegung dieser Molecüle selbst. Welcher ungleiche Antheil der Wärmeleitung aber der einen oder der andern dieser Ursachen angehöre, dieses ist allerdings schwer bestimmbar.

in Wasser von 30° C. Wärme getaucht wurde. Es erfolgte nach einiger Zeit ein Sinken des Quecksilbers, sobald es aber den frühern Stand erreicht, und also die im kleinen Ballon enthaltene Luft die Temperatur von 20° angenommen hatte, wurde ein Zeitraum von 5 Minuten genau gemessen, nach Verlauf derselben schloſs man den Hahn, zeichnete den Stand des Quecksilbers auf, woraus die Wärmemenge sich ergab, die das Gas während dieser Zeit angenommen hatte, öffnete dann den Hahn wieder und wartete, bis das Quecksilber seinen tiefsten Stand erreicht, also das Gas die Temperatur seiner Umgebung angenommen hatte. Da die Massen des Wassers sehr groſs waren, so machte es nicht bedeutende Schwierigkeiten, die Wärme desselben constant zu erhalten. Für 20° war dieses durchaus gar nicht schwierig, für 30° diente das einfache Mittel, dasselbe anfangs bis 30°,2 zu erwärmen, wonach es durch Ausstrahlung während 5 Minuten bis 29°,8 herabging und daher im Mittel als 30° warm betrachtet werden konnte. War es aber darum zu thun, das totale Sinken des Quecksilbers kennen zu lernen, welches einer Temperatur von 30° zugehörte, so wurde das Wasser fortwährend bei dieser Wärme erhalten[1]. Es versteht sich von selbst, daſs durch stetes Umrühren des Wassers die gesammte Masse desselben bei gleichmäſsiger Wärme erhalten wurde. Unter diesen Bedingungen, da der Temperaturunterschied nicht groſs, die Zeitdauer verhältniſsmäſsig lang (5 Minuten) und die Gesammtmenge des zu erwärmenden Gases nur klein (ungefähr 33 Kubik-Centimeter) war, lieſs sich ein hoher Grad von Genauigkeit erreichen. Um dieses gehörig zu würdigen, kommt noch Folgendes in Betrachtung.

Sofern sich der kleine Ballon mit dem in ihm enthaltenen Gase in einer und derselben gröſseren Kugel eingeschlossen befand und der ganze Apparat stets auf die nämliche Temperatur gebracht wurde, muſste dem inneren Ballon durch gleiche Erwärmung des äuſsern jedesmal eine gleiche Menge Wärme zu-

1 Aus eigener Erfahrung habe ich mich überzeugt, daſs dieses, was bei solchen Versuchen am angemessensten ist, durch Unterstellen einer kleinen Weingeistlampe oder Zugieſsen von heiſserem Wasser in kleinen Quantitäten leicht zu erreichen ist, nur muſs ein geübter Gehülfe dieses Geschäft ausschlieſslich besorgen.

strömen, er mufste also der eingeschlossenen Gasart jedesmal dieselbe Wärmemenge mittheilen, und dieses dadurch nach dem Verhältnifs seiner Wärmecapacität eine verschiedene Temperatur erhalten. Die Gase wurden sämmtlich mit gehöriger Sorgfalt bereitet, um als völlig rein betrachtet zu werden, demnächst wurden sie durch Chlorcalcium geleitet, wodurch sie jeden Antheil von Wasserdampf abgaben, und endlich über trocknem Quecksilber aufgefangen.

396) Die zu den oft wiederholten Versuchen genommenen Gasarten waren atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Stickgas, Wasserstoffgas, Kohlensäure, ölbildendes Gas, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, salpetrigsaures Gas, Schwefelwasserstoffgas, Ammoniak, schwefligsaures Gas, Chlorwasserstoffsäure und Cyangas. Oftmals mit demselben Gase gemachte Versuche führten aber zu dem unerwarteten Resultate, dafs sie insgesammt binnen der normalen Zeit von 5 Minuten die nämliche Temperatur erhielten, denn bei jedem sank das Quecksilber 14°,3 bis 14°,4 Millimeter, und zwar wurden beide Werthe sowohl bei der nämlichen Gasart durch wiederholte Versuche, als auch bei den verschiedenen Gasen erhalten, so dafs man den Unterschied dieser Gröfsen als die erreichte Fehlergrenze ansehn kann. Jede Gasart stand bei 20° C. unter 0,65 Meter Druck, und demnach mufste das Quecksilber in der Röhre der Berechnung gemäfs um 22,7 Millimeter fallen, wenn das Gas 30° Wärme erhielt, was auch durch die Erfahrung vollkommen bestätigt wurde. Auf gleiche Weise läfst sich die Temperatur finden, welche die Gase angenommen hatten, wenn das Quecksilber 14,3 Millim. gefallen war, nämlich 26°,30 und ebenso 26°,34 für 14,4 Millimeter; die Gase waren also um 6°,33 im ersten Falle und um 6°,34 im zweiten erwärmt, der Unterschied beträgt nur 0°,01, eine ungemein kleine Gröfse, und hierauf gründet sich die Folgerung, dafs die specifische Wärme aller Gase unter 0,65 Meter Druck für gleiche Volumina dieselbe sey. Blofs das Wasserstoffgas ward allezeit stärker erwärmt, denn in widerholten Versuchen fiel das Quecksilber jedesmal 15 Millimeter, was einer Temperaturvermehrung von 6°,6 zugehört. Marcet und Delarive glauben jedoch, dafs dieser Unterschied nicht von einer geringeren Wärmecapacität desselben, sondern von seiner besseren Leitungsfähigkeit herrühre. Uebrigens beschänkten sie sich nicht blofs

darauf, die Temperatur zu beobachten, welche die Gase nach 5 Minuten erhalten hatten, sondern sie richteten ihre Aufmerksamkeit auch auf diejenige, welche ihnen nach 2 Min. und nach 4 Min. mitgetheilt worden war; bei der ersteren machten sie insgesammt gleichmäfsig das Quecksilber um 8 Millim. sinken, welches einer Temperaturerhöhung von 3°,5 zugehört, nach 4 Minuten aber sank das Quecksilber um 12,5 Millimeter, was einen Zuwachs der Temperatur von 5°,5 C. anzeigt. Beide Beobachtungen waren etwas schwierig, weil der Hahn nicht, wie nach den normalen 5 Minuten, geschlossen wurde, inzwischen glauben sie, dafs der begangene Fehler nie mehr als 0,2 bis 0,3 Millim. betragen habe, und dieses gehört einer Temperatur von 0°,08 und 0°,12 zu. Es scheint also hiernach der Satz begründet zu seyn, dafs alle Gase unter gleichem Drucke und bei gleichem Volumen eine gleiche specifische Wärme besitzen, und dafs also die specifische Wärme derselben, wenn man sie auf die Massen reducirt, ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportional sey.

397) Um den Einflufs des Druckes auf die specifische Wärme der Gase zu ermitteln, behielten sie den vorigen Apparat bei, verlängerten aber die Röhre mit der Quecksilbersäule bis 60 oder 70 Centimeter, statt dafs es früher nur 15 Centimeter lang war. Die stärkere Verdünnung der Gase in dem kleinen Ballon bewirkte dann ein stärkeres Aufsteigen der Quecksilbersäule in diesem Rohre, deren Höhe vom Barometerstande abgezogen die Dichtigkeit des Gases gab. Durch ein dem beschriebenen ganz gleiches Verfahren fanden sie, dafs bei den nachfolgenden Dichtigkeiten die Gase während 5 Minuten um folgende Thermometergrade erwärmt wurden.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unter | 0,650 | Meter | Druck | in | 5 | Minuten | um | 6°,30 |
| — | 0,590 | — | — | — | — | — | — | 6,55 |
| — | 0,437 | — | — | — | — | — | — | 6,90 |
| — | 0,370 | — | — | — | — | — | — | 7,01 |
| — | 0,258 | — | — | — | — | — | — | 7,30. |

Wird also die Gasart weniger dicht, so wächst die Wärme, welche ein gleiches Volumen während derselben Zeit und unter gleichen Bedingungen annimmt. Die hier angegebenen Gröfsen wurden durch Versuche mit atmosphärischer Luft erhalten, andere mit Wasserstoffgas, ölbildendem Gas und Koh-

lensäure angestellt, bestätigten das gefundene Gesetz vollkommen. Merkwürdig war hierbei der Umstand, dafs das Wasserstoffgas sich in diesen Versuchen genau, wie alle übrigen Gase verhielt, woraus hervorgeht, dafs der bei den Versuchen unter einem Drucke von 0,65 Metern wahrgenommene Unterschied eine Folge seines besseren Leitungsvermögens seyn mufs, welches nach Dulong und Petit bei verminderter Dichtigkeit desselben verschwindet. Durch eine leichte Abänderung des gebrauchten Apparates, indem die in Quecksilber gesenkte Mefsröhre heberförmig aufgebogen war, konnten Marcet und Delarive ihre Versuche auch auf Gase unter höherem, als atmosphärischem Drucke ausdehnen. Sie gaben mit den entgegengesetzten gleiche Resultate, denn die Wärmecapacität nahm mit der Dichtigkeit zu, jedoch in einem geringeren Verhältnisse, als dem der Quadratwurzeln der Elasticitäten. Ihre Versuche erstreckten sich auf Verdichtungen bis zu 0,8 ja selbst 0,9 Meter Quecksilberhöhe, und alle geprüfte Gase zeigten sich hierin übereinstimmend, wodurch dasjenige Bestätigung erhält, was Delaroche und Bérard bereits gefunden hatten (§. 386). Es folgt also aus allen diesen Versuchen, dafs die specifische Wärme aller Gase für gleiche Volumina und gleiche Elasticitäten die nämliche ist, und zugleich nach einem nicht genauer bestimmten Gesetze mit zunehmender Elasticität in einem wenig zunehmenden Verhältnisse wächst. Der erste wichtige Satz findet theoretisch eine Bestätigung darin, dafs alle Gase sich durch gleiche Grade der Wärme gleichmäfsig ausdehnen, wonach also die nämlichen Wärmemengen bei allen gleiche Wirkungen hervorzubringen scheinen. Für das zweite Verhalten haben die Experimentatoren selbst kein eigentliches Gesetz aufgestellt, wohl aber ist dieses durch Prevost[1] geschehn, welcher seine Hypothese über den Wärmestoff dabei zum Grunde legt, und hiernach folgende Formel aufstellt.

$$\sqrt[3]{p'} : \sqrt[3]{p} = t : t',$$

worin p den gemessenen, p′ den gegebenen Druck, t die beobachtete und t′ die gesuchte Temperatur bezeichnen. Im vorliegenden Falle, bezüglich auf die unter stets vermindertem Drucke erhaltenen Resultate hätte man also

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXIX. p. 194. Poggendorff's Ann. XIV. 595.

$$\sqrt[3]{p'} : \sqrt[3]{0,65} = 6°,3 : x.$$

Die Berechnung der gegebenen Gröſsen giebt folgende Uebersicht:

| Versuche Nr. | Druck in Metern | Erwärmung in 5 Minuten | | Unterschied | Verhältniſs der Unterschiede zu den berechneten Graden |
|---|---|---|---|---|---|
| | | berechnet | beobachtet | | |
| 1 | 0,650 | . . . | 6,30 | . . . | . . . . . . |
| 2 | 0,590 | 6,51 | 6,55 | — 4 | 0,006 |
| 3 | 0,487 | 6,94 | 6,90 | + 4 | 0,066 |
| 4 | 0,370 | 7,60 | 7,01 | + 59 | 0,077 |
| 5 | 0,258 | 8,58 | 7,30 | + 128 | 0,149 |

Das stete Wachsen der Unterschiede ist hierbei zu auffallend, als daſs Prevost selbst es übersehn konnte, und er glaubt daher, daſs noch eine fremde Ursache mitwirkend seyn müsse. Um genauere Resultate zu erhalten, und hauptsächlich die letzten groſsen Unterschiede wegzuschaffen, schlägt er daher vor, jede folgende Gröſse aus der unmittelbar vorhergehenden zu berechnen. Hiernach erhielte man

$$\sqrt[3]{0,258} : \sqrt[3]{0,370} = 7,01 : x,$$

wodurch die Unterschiede in 0,073 und 0,076 verwandelt werden, allein auch hierbei wird die Zunahme sichtbar, die natürlich bei jedem einzelnen Gliede kleiner seyn muſs, als wenn sie summirt wird, aber auf jeden Fall ist auf diese Weise kein allgemeines Gesetz zu erhalten.

Marcet und Delarive haben die Wärmecapacitäten nicht auf das specifische Gewicht der untersuchten Gase reducirt und ebenso nicht auf die des Wassers. Sobald die letztere Bestimmung in genügender Genauigkeit vorhanden ist, hat die erstere keine Schwierigkeiten. Immerhin kann aber die durch Delaroche und Bérard aufgefundene Reduction der specifischen Wärme der trocknen atmosphärischen Luft auf die des Wassers als hinreichend genau gelten, und es ist dann leicht, diese für atmosphärische Luft, und somit für alle Gase geltende Gröſse durch das specifische Gewicht der Gase zu dividiren, um die specifischen Wärmen derselben für gleiche Massen zu

erhalten. Durch dieses Verfahren sind die in der angehängten Tabelle gegebenen Bestimmungen gefunden worden.

398) Inzwischen wurden Marcet und Delarive bewogen, die hier aufgestellten Sätze noch durch eine nachträgliche Reihe von Versuchen zu bestätigen[1]. Es wurde ihnen nämlich der Einwurf gemacht, die Masse der in der Kugel eingeschlossenen Gase sey an sich und namentlich im Verhältnifs zu der sie einschliefsenden Glaskugel zu gering gewesen, um so kleine Unterschiede, als hierbei statt fänden, anzugeben. Hiergegen rechtfertigten sie sich durch nähere Angabe der ungleichen Temperaturen, die sie bei denselben Gasen unter verschiedenem Drucke beobachtet hatten, denn diese erhielten unter den nämlichen Bedingungen der Erwärmung, wenn sie 10° warm einer Umgebung von 20° ausgesetzt wurden, binnen 5 Minuten folgende Temperaturen.

| Gase | Barometerdruck | Erwärmung |
|---|---|---|
| atmosphärische Luft | 0,66 Meter | 6°,70 Cent. |
| | 0,46 — | 7,64 — |
| | 0,25 — | 8,55 — |
| kohlensaures Gas . | 0,68 — | 6°,66 — |
| | 0,55 — | 6,96 — |
| | 0,42 — | 7,80 — |
| | 0,27 — | 8,45 — |
| | 0,17 — | 9,50 — |
| Stickstoffoxydulgas | 0,67 — | 6°,69 — |
| | 0,50 — | 7,20 — |
| | 0,37 — | 7,60[2] — |
| | 0,27 — | 8,50 — |
| Wasserstoffgas . . | 0,65 — | 7°,00 — |
| | 0,50 — | 7,40 — |
| | 0,32 — | 8,10 — |
| | 0,22 — | 8,60 — |

Hierbei sind allerdings die Unterschiede der erhaltenen Temperaturen sehr bedeutend, und das hierauf gegründete Argu-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLI. p. 78. Bibl. univ. T. XLI. p. 37. Poggendorff's Ann. XVI. 340.

2 Diese Gröfse halten die Experimentatoren für nicht hinlänglich genau.

ment, dafs auch die Unterschiede der specifischen Wärmen, wenn solche vorhanden wären, sich hätten zeigen müssen, ist nicht ohne bedeutendes Gewicht. Nimmt man die atmosphärische Luft 15mal so schwer an, als das Wasserstoffgas, so war die Masse dieses Gases zu der der Luft in den Versuchen gleichfalls in diesem Verhältnisse, dagegen aber betrug der Unterschied der Masse bei atmosphärischer Luft unter 0,66 Meter und 0,25 Meter Druck nur etwas mehr als die Hälfte und ebenso bei Wasserstoffgas unter 0,65 und 0,32 Meter Druck nicht mehr als die Hälfte, und dennoch gab jene 1°,85, diese aber 1°,1 Unterschied der Temperaturen. Hieraus geht wohl überzeugend hervor, dafs der Unterschied der Wärmecapacitäten bei den Gasen unter gleichem Drucke und für gleiche Volumina auf jeden Fall nicht grofs seyn kann, wollte man auch eine absolute Gleichheit in Zweifel stellen, denn ein irgend bedeutender Unterschied mufste nothwendig aus den angestellten Versuchen hervorgehn.

Inzwischen begnügten sich Marcet und Delarive mit diesem Beweise der Genauigkeit ihrer früheren Versuche nicht, sondern sie wiederholten sie vielmehr mit einer weit gröfseren Kugel, die aber dennoch so dünn war, dafs sie nur 22 Gramm wog und bei einem Drucke von 0,68 Meter Barometerhöhe und 12° C. Temperatur 0,4 Gramm atmosphärische Luft enthielt. Die Quecksilberröhre hatte 4 Millim. im Durchmesser, die Wirkung der Capillarität war also nicht grofs, und das Quecksilber konnte sich frei in ihr bewegen; sie war aufserdem 12 Centimeter über der Kugel durch einen gläsernen eingeschliffenen Hahn unterbrochen, und so konnten durch Entfernung jedes Kittes und jedes Metalles auch Chlor und Schwefelwasserstoffgas untersucht werden, nur mufste dann die Röhre mit atmosphärischer Luft gefüllt seyn, um den Zutritt der genannten Gase zum Quecksilber zu verhüten. Hieraus entstanden indefs keine Fehler, denn alle einzelne, mit diesen Gasen angestellte, Versuche gaben unter sich völlig übereinstimmende Resultate. Die wie die frühere eingerichtete äufsere kupferne Kugel hatte 22 Centim. oder nahe 8 Zoll Durchmesser, und es ward stets darauf geachtet, dafs sie gehörig luftleer blieb, auch alle Theile des Apparates in gutem Stande waren. Die Elasticität des in den Ballon gebrachten Gases betrug nahe 0,69 Meter Quecksilberhöhe, die kupferne Kugel aber, nachdem sie gehörig

exantlirt war, wurde im Wasser bis genau 12°,5 erkältet, und der bleibende Stand des Quecksilbers in der Glasröhre zeigte, daſs auch das Gas im Ballon genau diese Temperatur angenommen hatte. Demnächst ward die kupferne Kugel schnell in Wasser von 31° C. gebracht, worauf sehr bald das Quecksilber in der Röhre zu sinken begann. Von dem Augenblicke an, wo dieses anfing, ward von Minute zu Minute beobachtet, um wieviel dasselbe herabgesunken war, woraus sich die successiven Erwärmungen des jedesmal untersuchten Gases entnehmen lieſsen. Jeder Versuch wurde mehrmals wiederholt, obgleich die nächstfolgenden Resultate von den vorhergehenden nur unmerklich abwichen. Daſs dabei alle mögliche Vorsichtsmaſsregeln angewandt wurden, muſs man der Versicherung der gewissenhaften Experimentatoren zutrauen, die auch namentlich jederzeit untersuchten, ob kein Theil des Apparates während der Versuchsreihe in Unordnung gerathen war. Die folgende Tabelle enthält die ausführlich mitgetheilten Resultate.

| Gase | Beobachtungszeiten | Depressionen des Quecksilbers | Grade der Erwärmung |
|---|---|---|---|
| atmosphärische Luft | 2 Minuten | 23,0 Millim. | 9°,20 |
| | 3 — | 28,1 — | 11,24 |
| | 4 — | 31,5 — | 12,60 |
| | 5 — | 33,5 — | 13,40 |
| | 6 — | 34,6 — | 13,84 |
| | 7 — | 35,4 — | 14,16 |
| | 8 — | 36,0 — | 14,40 |
| Kohlensäure . . . . . | 2 Minuten | 23,0 Millim. | 9°,20 |
| | 3 — | 28,0 — | 11,20 |
| | 4 — | 31,5 — | 12,60 |
| | 5 — | 33,7 — | 13,48 |
| | 6 — | 34,7 — | 13,88 |
| | 7 — | 35,5 — | 14,20 |
| | 8 — | 35,9 — | 14,36 |
| Stickstoffoxydul . . . | 2 Minuten | 23,0 Millim. | 9°,20 |
| | 3 — | 28,0 — | 11,20 |
| | 4 — | 31,3 — | 12,52 |
| | 5 — | 33,4 — | 13,36 |
| | 6 — | 34,5 — | 13,80 |
| | 7 — | 35,5 — | 14,20 |
| | 8 — | 36,0 — | 14,40 |

| Gase | Beobachtungszeiten | Depressionen des Quecksilbers | Grade der Erwärmung |
|---|---|---|---|
| ölbildendes Gas . . . | 2 Minuten | 23,0 Millim. | 9°,20 |
| | 3 — | 28,0 — | 11,20 |
| | 4 — | 31,5 — | 12,60 |
| | 5 — | 33,1? — | 13,24 |
| | 6 — | 34,5 — | 13,80 |
| schweflige Säure . . | 2 Minuten | 23,0 Millim. | 9°,20 |
| | 3 — | 28,0 — | 11,20 |
| | 4 — | 31,5 — | 12,60 |
| Schwefelwasserstoff . | 2 Minuten | 23,0 Millim. | 9°,20 |
| | 3 — | 28,1 — | 11,23 |
| | 4 — | 31,7 — | 12,68 |
| Chlorgas . . . . . . . | 2 Minuten | 22,9 Millim. | 9°,16 |
| | 3 — | 28,0 — | 11,20 |
| | 4 — | 31,6 — | 12,64 |
| | 5 — | 33,5 — | 13,40 |
| | 6 — | 34,4 — | 13,76 |
| Wasserstoffgas . . . . | 2 Minuten | 23,6 Millim. | 9°,44 |
| | 3 — | 29,0 — | 11,60 |
| | 4 — | 32,0 — | 12,80 |
| | 5 — | 33,8 — | 13,52 |
| | 6 — | 34,7 — | 13,88 |
| | 7 — | 35,5 — | 14,20 |
| | 8 — | 36,1 — | 14,41 |

Bei der schwefligen Säure, dem Schwefelwasserstoffgas und dem Chlorgas wurde die Beobachtung nur so lange fortgesetzt, bis diese sich mit der im Glasrohre befindlichen atmosphärischen Luft mengten und das Quecksilben angriffen.

Vergleicht man die hier gegebenen Resultate unter einander, so ergiebt sich daraus, dafs mit Ausnahme des Wasserstoffgases alle übrige sich in gleichen Zeiten gleichmäfsig ausdehnten, also um gleichviel erwärmt wurden, und demnach eine gleiche specifische Wärmecapacität haben müssen, da ihnen die Wärme aus einer gleich intensiven Quelle zuströmte. Die Abweichungen betragen nicht mehr als 0°,04 und nur in zwei Fällen 0°,08, und da sie bald auf der einen, bald auf der andern Seite liegen, so können sie nur als Beobachtungsfehler gelten. Wären aber wirklich Unterschiede der Wärmecapacitäten vorhanden gewesen, die eine 0°,04 gröfsere oder

geringere Erwärmung veranlafst hätten, so könnten jene der Berechnung nach nicht mehr als 0,1 der Wärmecapacitäten betragen. Ein ungleiches Leitungsvermögen der Gase geht aus diesen Versuchen gleichfalls nicht hervor, mit Ausnahme des Wasserstoffgases, dessen Erwärmung den übrigen stets zuvor war und nur erst nach 6 Minuten ihnen gleich kam. Dieses stärkere Leitungsvermögen geht übrigens auch aus andern Erfahrungen hervor, beweiset aber keineswegs einen Unterschied der specifischen Wärmecapacität, weil es sonst nach 6 und 8 Minuten nicht wieder ins Gleichgewicht gekommen wäre, vielmehr entscheiden die erhaltenen Resultate sehr für die Empfindlichkeit des gebrauchten Apparates, welcher demnach auch selbst geringe Unterschiede der specifischen Wärmecapacitäten angezeigt haben würde, wenn diese wirklich vorhanden wären. Auch diese Versuchsreihe dient daher zur Bestätigung der oben aufgestellten Sätze.

399) Marcet und Delarive[1] haben seit jener Zeit, etwa seit 1830, ihre Untersuchungen fortgesetzt, die sich hauptsächlich und zunächst auf die Bestimmung der specifischen Wärme starrer Körper beziehn, wovon demnächst die Rede seyn wird. Nur von zwei Gasen bestimmten sie die specifischen Wärmecapacitäten, allein dennoch verdient ihre Arbeit eine ausführlichere Erörterung, weil sie sich dabei der Methode der Abkühlung mit einer eigenthümlichen Modification bedienten, und dieses ihr Verfahren nicht blofs genau beschreiben, sondern auch die Art der Berechnung vollständig mittheilen. Sie gebrauchten ein kleines, cylindrisches Gefäfs von Kupfer, 37 Millim. hoch und 33 Millim. weit, in welchem sich ein kleines kupfernes Schlangenrohr befand, dessen Enden einige Millimeter über den Deckel des Gefäfses hervorragten. Das leere Gefäfs wog 28,637 Gramm und fafste 27,093 Gramm oder nahe 27 Kubikcentimeter Wasser. Dasselbe wurde in die inwendig geschwärzte, 22 Centimeter im Durchmesser haltende kupferne Kugel gebracht und letztere gut exantlirt. Im Gefäfse befand sich ein sehr empfindliches Thermometer, welches die Temperatur der darin enthaltenen Flüssigkeit angab, indem das Rohr desselben aus der kupfernen Kugelher vorragte, ebenso wie

---

1 L'Institut. 1840. VIIme Ann. N. 335. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 119. Bibliothèque univers. 1840. Août.

zwei Glasröhren, welche mit den beiden Mündungen des Schlangenrohrs verbunden waren. Bei den Versuchen füllten sie das Gefäfs mit Terpentinspiritus, wegen seiner geringeren Wärmecapacität, erwärmten dasselbe, brachten es dann in die Mitte der kupfernen Kugel vermittelst des Deckels der letzteren, woran es durch die Thermometerröhre festsafs, exantlirten die Kugel, senkten sie dann ins Wasser, welches genau die Temperatur des Zimmers hatte, und beobachteten die Zeit der Abkühlung um eine bestimmte Zahl von Thermometergraden. Alsdann wiederholten sie diesen Versuch, liefsen aber während des Erkaltens um eine gleiche Anzahl Grade ausgetrocknete atmosphärische Luft von der Temperatur der Umgebung durch das Schlangenrohr strömen, wodurch die vorher blofs von der Strahlung herrührende Abkühlung beschleunigt wurde. Auf gleiche Weise liefsen sie auch diejenigen Gase durch das Schlangenrohr strömen, deren specifische Wärme sie mit der der Luft vergleichen wollten, und dabei wurde jederzeit die Quantität des angewandten Gases genau gemessen und zugleich durch angemessenes Oeffnen des Hahn dafür gesorgt, dafs in gleichen Zeiten gleiche Quantitäten des Gases durchströmten.

Die Art der Berechnung der auf diese Weise erhaltenen Resultate entnahmen sie aus einem Briefe von Dulong, worin dieser zugleich rieth, hauptsächlich dafür zu sorgen, dafs das Vacuum jederzeit gleich sey. Vor allen Dingen sollen aber die Unterschiede der Temperaturen 10° C. nicht übersteigen, weil nach seiner Ansicht nur unter dieser Bedingung das Newton'sche Gesetz als gültig zu betrachten ist. Heifst dann T der veränderliche Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters über die der Hülle, welcher der Zeit t entspricht, die vom Anfange des Erkaltens an verstrichen ist; a der Ueberschufs dieser Temperatur für $t = 0$ und $T'$ für eine Zeit $= \Theta'$, so kann der Fortgang des Erkaltens durch: $T = a m^t$ ausgedrückt werden, wobei m durch die Beobachtung bestimmt werden mufs. Der allgemeine Ausdruck für die Geschwindigkeit des Erkaltens wird dann seyn:

$$v' = \frac{dT}{dt} = - TL.m.$$

Will man dieselbe für die Temperatur a erhalten, so darf man

diese Gröfse nur statt T in die Formel setzen, und erhält dann die Constante L . m, indem man setzt

$$T' = a\,m^{\Theta}; L.T' = L.a + \Theta L.m,$$

woraus folgt

$$L.m = \frac{L.a - L.T'}{\Theta} = \frac{L.\frac{a}{T'}}{\Theta'},$$

und durch Substitution

$$v' = \frac{a\,L.\frac{a}{T'}}{\Theta}$$

die Geschwindigkeit der gesammten Abkühlung, und wenn ein Gas durch den Apparat strömt, so ist

$$v'' = \frac{a\,L.\frac{a}{T''}}{\Theta''}.$$

Hierin bezeichnet T″ die nach der Zeit Θ″ beobachtete Temperatur, L aber den hyperbolischen Logarithmus. Die Geschwindigkeit des Erkaltens, die vom Gas allein herrührt, ist $= v = v'' - v'$.

Man findet auf diese Weise leicht das Verhältnifs der specifischen Wärme zweier Gase bei gleichem Volumen. Ist nämlich die Geschwindigkeit für atmosphärische Luft = v; für das verglichene Gas = V; die specifische Wärme der Luft = c; des Gases = C; das Volumen der durchströmenden Luft = w; des durchströmenden Gases = W, so hat man

$$\frac{C}{c} = \frac{w\,V}{v\,W}.$$

Will man die Capacitäten auf Wasser zurückführen, so ist v″m die Wärmemenge, welche durch das Instrument von der Wassermasse = m abgegeben wird (dessen Wärmecapacität = 1 gesetzt), um das Gas zu erwärmen, eine gleichmäfsige Abkühlung vorausgesetzt. T m′c′ ist die Wärmemenge, welche von dem in der Zeiteinheit durchströmenden Gase aufgenommen wird, dessen Masse = m′ und die Wärmecapacität auf die des Wassers als Einheit bezogen = c′ ist, T aber die Temperaturzunahme des Gases, welches durch das Instrument strömt,

in dem Augenblicke, für welchen es die Geschwindigkeit $= v''$ angenommen hat. Hiernach ist also

$$v'' m = T m' c',$$

woraus $c'$ gefunden wird.

Um von diesen Formeln Gebrauch zu machen, wählten Marcet und Delarive folgende Bezeichnungen. Es hieſs $\Theta'$ die Zeit des Erkaltens ohne durchströmendes Gas; $\Theta''$ diese Zeit beim Durchströmen von atmosphärischer Luft; $\Theta'''$ beim Durchströmen einer andern Gasart. Ferner hieſs w das Volumen Luft, welches während der Zeit $\Theta''$ durchströmte; $W'$ das Volumen des in der Zeit $\Theta'''$ durchströmenden Gases und W das Volumen dieses Gases, welches in der Zeit $\Theta''$ durchgeströmt seyn würde. Man erhält dann für eine gleichmäſsige Durchströmung

$$W = W' \frac{\Theta''}{\Theta'''}.$$

Auſserdem hat man, wenn $v'$ die Geschwindigkeit des Erkaltens ohne durchströmendes Gas; $v''$ bei durchströmender atmosphärischer Luft; $v'''$ bei durchströmender sonstiger Gasart heiſst, folgende Relationen

$$v' = \frac{a L . \frac{a}{T'}}{\Theta'},$$

$$v'' = \frac{a L . \frac{a}{T'}}{\Theta''},$$

$$v''' = \frac{a L . \frac{a}{T'}}{\Theta'''},$$

worin $T'$ die stets gleiche Anzahl von Graden bezeichnet, um welche die Abkühlung in den Zeiten $\Theta'$; $\Theta''$; $\Theta'''$ statt findet, wenn kein Durchströmen statt findet, oder ein Volumen Luft $= w$, oder ein Volumen Gas $= W'$ durchströmt. Es ist aber die Geschwindigkeit des Erkaltens, die durch die Luft oder das Gas allein bewirkt wird, dem Unterschiede gleich, welcher beobachtet wird, wenn Luft oder Gas durchströmt, und wenn die Strahlung allein wirkt. Heiſst daher v die Geschwindigkeit des Erkaltens, die der atmosphärischen Luft allein zukommt, wenn ein Volumen derselben $= w$ während der

Zeit $\Theta''$ durchströmt und V diejenige, die dem Gas allein zukommt, wenn ein Volumen W' desselben während der Zeit $\Theta'''$ durchströmt, so hat man

$$v = v'' - v' = \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta''} - \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta'};$$

$$V = v''' - v' = \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta'''} - \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta'}.$$

Setzt man also in Dulong's Formel, wonach

$$\frac{C}{c} = \frac{wV}{vW}$$

für v und V die gefundenen Werthe, und berücksichtigt man, dafs $W = W'\frac{\Theta''}{\Theta'''}$ ist, so erhält man nach gehöriger Reduction

$$\frac{C}{c} = \frac{(\Theta' - \Theta''')w}{(\Theta' - \Theta'')W'},$$

und demnach unmittelbar die specifische Wärme des Gases, verglichen mit der der atmosphärischen Luft, letztere als Einheit genommen.

Um die Genauigkeit zu zeigen, welche auf diesem Wege erhalten wird, theilen Delarive und Marcet aus ihren zahlreichen Versuchen eine genaue Beschreibung derjenigen Resultate mit, die sie für ölerzeugendes und für kohlensaures Gas gefunden haben. Die Temperatur der Umgebung war 11° C. oder 11°,5; die Abkühlung betrug 6° oder 7°,5 in beiden Versuchsreihen. Bei der ersten Versuchsreihe geschah die Abkühlung von 25° bis 19°, also war T = 6°; die Zeit der Abkühlung ohne durchströmendes Gas, also $\Theta'$, betrug 1240 Secunden; die Zeit der Abkühlung bei durchströmender Luft, also $\Theta''$, betrug 860 Sec.; das Volumen der durchströmenden Luft, also w, = 13675,879 Kubikcentimeter. Es waren dann für die Zeit $\Theta'''$ des durchströmenden Gases und das Volumen W' desselben

| $\Theta'''$ | W' | $\frac{C}{c}$ |
|---|---|---|
| 624″ . . . . | 11487,307 . . . . | 1,4958 |
| 594 . . . . | 11603,240 . . . . | 1,5576 |
| 632 . . . . | 11038,318 . . . . | 1,5376; |

im Mittel also 1,5303. Drei andere Versuche gaben im Mittel 1,5315 und aus beiden also das Mittel 1,5309; Dulong fand für dieses Gas 1,531; Delaroche und Bérard 1,553. Für Kohlensäure fanden sie 1,222, statt dafs Dulong 1,175, Delaroche und Bérard aber 1,258 gefunden hatten; sie halten aber ihre Bestimmung leicht für etwas zu grofs, weil das Wasser des Gasometers eine Kleinigkeit des Gases verschluckt haben konnte, wodurch W′ zu klein, also C : c zu grofs werden mufste.

Die schwierigsten Versuche sind die mit Wasserstoffgas, weil man kaum verhüten kann, dafs dasselbe nicht entweder zu schnell oder zu langsam durchströmt. Die Temperatur des Zimmers war 11°,25, das Thermometer ging von 49°,5 auf 45° herab, also um 4°,5 binnen 5 Minuten, während welcher Zeit 7373,7 Kubikcentim. Gas durchströmten. Eine ganz gleiche Quantität atmosphärischer Luft machte in der nämlichen Zeit das Thermometer um gleichviele Grade sinken; es waren aber 10 Minuten erforderlich, damit die Temperatur ohne durchströmendes Gas oder Luft um gleich viele Grade herabging. Strömte das Wasserstoffgas langsamer hindurch, so ergab sich eine bedeutend geringere Wärmecapacität desselben. Delarive und Marcet sind daher nach ihren Versuchen, die sie auch mit Sauerstoffgas und Stickgas anstellten, überzeugt, dafs gleiche Volumina der einfachen Gase unter constantem Drucke die nämliche Wärmecapacität haben; sie beabsichtigen ihre Versuche noch weiter fortzusetzen, als Flüssigkeit im Calorimeter aber Quecksilber anzuwenden, wegen seiner weit geringeren Wärmecapacität. Die sehr schätzbaren Versuche zeigen evident, dafs durch das beschriebene Verfahren sehr genaue Resultate erhalten werden, hauptsächlich wenn man die Apparate nicht zu klein ausführt und eine hinlänglich grofse Menge Gas hindurchströmen läfst. Immerhin bleibt aber fraglich, ob durch die von Delaroche und Bérard gewählte Methode, der die angegebene übrigens sehr nahe kommt, nicht auf leichtere Weise und mit einer engeren Fehlergrenze gleich genaue oder selbst noch genauere Resultate zu erhalten wären. Die gefundenen Werthe sind nicht auf Wasser als Einheit reducirt; ich habe hierfür aber diejenige Gröfse angenommen, welche Delarive und Marcet schon bei ihren früheren Versuchen als die

richtige anerkannten, und hieraus sind die in der Tabelle aufgeführten Bestimmungen entstanden.

Es kann hier noch beiläufig erwähnt werden, dafs H. Davy[1] ein bis 160° F. erhitztes Thermometer in verschiedenen Gasarten von 52° F. Temperatur erkalten liefs und die ungleichen Zeiten mafs, die zu einer Abkühlung bis 106° F. erfordert wurden. Das Volumen der Gase war 21 Kubikzoll, die Zeiten aber giebt folgende Tabelle.

| | | | |
|---|---|---|---|
| In atmosphärischer Luft . | 120 Sec. | Sauerstoffgas . . . | 107 Sec. |
| Wasserstoffgas . . . . . | 45 — | Salpetergas . . . . | 162 — |
| ölerzeugendes Gas . . . | 75 — | Kohlensäure . . . | 165 — |
| Kohlenoxydgas . . . . . | 55 — | Chlor. . . . . . . . | 186 — |
| Stickgas . . . . . . . . . | 90 — | | |

Es verlohnt sich aber nicht der Mühe, diese ohnehin nicht hinlänglich genauen Resultate einer Berechnung zu unterwerfen.

400) Eine ebenso ausführliche als gehaltreiche Arbeit über die specifische Wärme der Gase hat Dulong[2] geliefert, und er befolgte dabei eine bis dahin noch nicht angewandte Methode. Gegen die Versuche von Haycraft, welcher ohnehin seine Apparate und Verfahrungsarten nicht mit hinlänglicher Genauigkeit beschrieben hat, findet er zu erinnern, dafs er nur eine einzige zusammengesetzte Gasart, nämlich die Kohlensäure, untersuchte und daher nicht berechtigt war, das aufgefundene Gesetz auf alle solche Gase anzuwenden; im Allgemeinen bemerkt er aber, dafs die Beweglichkeit der Gase und die aus dieser und andern Ursachen folgende ungleich schnelle Aufnahme der Wärme leicht unrichtige Folgerungen herbeiführen könne. Derselbe Einwurf trifft auch die eben erwähnten Versuche von Marcet und Delarive, obgleich Dulong zugesteht, dafs sie alle von ihm selbst und Petit für diese Verfahrungsart aufgefundene Vorsichtsregeln in Anwendung gebracht hätten. Die erste Bedingung, meint er, welche erfüllt werden müsse, bestehe darin, dafs die Wärmemenge, welche

1 Philos. Trans. 1817. p. 60.

2 Mém. de l'Acad. Roy. des Sc. T. X. Ann. de Chim. et Phys. T. XLI. p. 113. Poggendorff's Ann. XVI. 438. Wiener Zeitschr. Th. VI. St. 4. S. 474. Vergl. Art. *Schall.* Bd. VIII. S. 421.

von dem den zu erwärmenden Körper einschlieſsenden Gefäſse verschluckt oder abgegeben wird, kein zu groſser Theil der gesammten, beim Versuche fortgehenden oder hinzutretenden, Wärme sey, und diese Bedingung lasse sich bei expansibelen Flüssigkeiten kaum überall erreichen. Nach den Dimensionen der von Marcet und Delarive gebrauchten Apparate betrug das Gewicht des Glases 7,017 und der darin enthaltenen Luft 0,036 Gramm bei 0,65 Meter Barometerhöhe und 20° C. Temperatur, mithin standen die Wärmemengen, welche beide zu gleicher Erhöhung der Temperatur bedurften, im Verhältniſs[1] von 126 zu 1, für ein anderes Gas aber von einer nur $\frac{1}{4}$ so groſsen Wärmecapacität würde die Gröſse dieses Unterschiedes nur $\frac{1}{500}$ der gesammten Wärmemenge betragen. So kleine Gröſsen zu messen ist nicht wohl möglich, denn bei einer gegebenen Zeit von 5 Minuten entspricht das Intervall der Erwärmung oder Erkältung um eine gleiche Zahl von Graden nur einem Unterschiede von 36 Tertien. Hiernach leitet Dulong die Zeiten, welche die verschiedenen Gase erforderten, damit sie um eine gleiche Anzahl von Graden erwärmt wurden, lediglich von der ungleichen Geschwindigkeit ab, mit der sich die inneren Theile derselben mit den äuſseren, die allein Wärme durch unmittelbare Mittheilung von den Wandungen des Gefäſses erhielten, vermischten, und da alle Gase eine gleiche Expansivkraft besaſsen[2], so wichen diese Zeiten desto mehr von einander ab, je beträchtlicher der Temperaturüberschuſs desselben Gefäſses war, so daſs der Unterschied unmerklich werden konnte, wenn sich dessen Wände sehr langsam erwärmten. Das aufgestellte Argument, der gebrauchte Apparat sey fein genug gewesen, um den Unterschied der specifischen Wärme verdünnter Gasarten gegen die der dichteren kenntlich zu machen, und er müsse daher auch genügen, den Unterschied

---

1 Für den später gebrauchten gröſseren Ballon ist das Verhältniſs 55 zu 1; die neuesten Versuche dieser Gelehrten aber unterliegen diesem Vorwurfe nicht.

2 Streng genommen, kann dieses nicht richtig seyn, denn die specifisch leichteren Gase haben eine weit gröſsere Fluidität, und namentlich ist oben §. 398 nachgewiesen worden, daſs der Unterschied dieser Beweglichkeit zwischen Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft weit gröſser sey, als zwischen der letzteren unter stärkerem und geringerem Drucke.

der specifischen Wärme verschiedener Gase merkbar zu machen, stellt Dulong in Zweifel, vielmehr müsse man, um diesen Schlufs zu begründen, zuvörderst beweisen, dafs die Ungleichheit in der Zeit der Erwärmung gleicher Volumina des nämlichen, aber ungleich dichten Gases blofs vom Unterschiede der specifischen Wärme abhänge. Wenn aber weiter bemerkt wird, dafs in den vergleichbaren Versuchen mit atmosphärischer Luft unter 0,65 und 0,26 Meter Quecksilberdruck statt der Zeiten, welche zur gleichen Erwärmung nöthig waren, die in gleichen Zeiten erlangten ungleichen Wärmen mitgetheilt seyen, hierdurch aber die Vergleichung erschwert werde, so gestehe ich, dafs ich dieses nicht genau zu begreifen vermag; und aufserdem wird zur Begründung dieses Einwurfes gefordert, man solle voraussetzen, dafs die specifische Wärme des Gases vermöge seiner Verdünnung auf 0 reducirt sey, was doch in der That unmöglich ist. Inzwischen folgert Dulong aus allen diesen Gründen, dafs es unzulässig sey, eine Einrichtung dieses Apparates oder eine Verfahrungsweise zu ersinnen, welche erlaube, aus den Zeiten der Erwärmung oder der Erkaltung die specifische Wärme der Gase aufzufinden. Hiernach hält er also die Versuche von Delaroche und Bérard, obgleich sie eine gröfsere Genauigkeit zu wünschen übrig lassen, für diejenigen, welche noch immer das gröfste Vertrauen verdienen, und daher hinreichen, um aufser Zweifel zu setzen, dafs alle einfache und zusammengesetzte Gase unter gleichem Drucke und bei gleichem Volumen nicht gleiche Wärmecapacität besitzen. Inzwischen bezögen sich diese Versuche nur auf Gase, die einem constanten Drucke ausgesetzt sind und die Aufgabe bleibe für die Voraussetzung eines constanten Volumens noch ganz unerledigt, biete aber in dieser Beziehung für die experimentelle Untersuchung weit mehr Schwierigkeiten dar, und man habe noch kein Mittel zu ihrer directen Auflösung.

Ohne hier vorläufig auf die Bedingungen des gleichen Druckes und des gleichen Volumens einzugehn, welche ich später klar zu entwickeln mich bemühn werde, müssen sich nothwendig folgende Betrachtungen aufdrängen. Es ist allerdings nicht in Abrede zu stellen, dafs Marcet und Delarive ihre Versuche mit sehr geringen Mengen der Gase anstellten, deren Masse, mit der der übrigen Theile des Apparates, namentlich des einschliefsenden Ballons, verglichen, eine kleine

Gröfse ist, und die Versuche von Delaroche und Bérard behalten daher allezeit einen grofsen Vorzug, weil sie mit so beträchtlichen Mengen angestellt wurden; von der andern Seite aber wird dieser Nachtheil durch anderweitige Bedingungen wieder bedeutend aufgewogen. Dem Wesen nach war der gebrauchte Apparat ein Luftthermometer, und es ist noch niemandem eingefallen, diese Werkzeuge, auch wenn das Verhältnifs der Massen der eingeschlossenen Luft gegen die einschliefsende Hülle noch ungleich gröfser ist, für ungenau zu halten, wonach die Resultate aller mit Luftthermometern angestellten Versuche höchst unsicher seyn müfsten, was der bisherigen Annahme ebenso sehr als einer Vergleichung derselben mit andern, so wie auch unter sich, geradezu widerstreitet. Dazu kommt aber der Umstand, dafs im vorliegenden Falle dem Luftthermometer die Wärme jederzeit unter völlig gleichen Bedingungen ganz gleichmäfsig zugeführt wurde, mehr als dieses bei irgend sonstigen Versuchen der Fall seyn kann, und die Resultate dürfen daher auf weit mehr Genauigkeit gerechte Ansprüche machen, als bei allen andern Anwendungen des für so höchst empfindlich geltenden Luftthermometers der Fall seyn kann. Der Einflufs der ungleichen Fluidität und der hieraus folgenden gröfseren oder geringeren Beweglichkeit der verschiedenen Gase läfst sich zwar auf keine Weise in Abrede stellen, allein dieser mufste sich in den ersten Minuten am auffallendsten zeigen, in den folgenden aber, wenn die Bewegung einmal begonnen hatte, minder hervortreten; er war auch in dieser Weise bei dem auffallend fluideren Wasserstoffgase wirklich kennbar, allein die Versuche zeigen selbst sehr augenfällig, dafs diese Ursache unmöglich die einzig wirksame seyn konnte, denn sonst hätten sich bei weitem gröfsere Unterschiede zeigen müssen, und eben die völlige Gleichheit der gefundenen Gröfsen ist gerade dasjenige, was unter dieser Voraussetzung nicht erfolgen konnte. Endlich aber zeigen die durch Delaroche und Bérard erhaltenen, in der nachfolgenden Tabelle aufgezeichneten Bestimmungen der specifischen Wärmen mit denen verglichen, die durch Marcet und Delarive gefunden wurden, mit alleiniger Ausnahme des ölerzeugenden Gases, eine so genaue Uebereinstimmung, dafs die geringen Unterschiede leicht für Folgen von Beobachtungsfehlern theils bei der Bestimmung der specifischen Wärmen, theils bei

der Ermittelung ihrer specifischen Gewichte gelten können, da die letzteren ohnehin nach den verschiedenen Autoritäten um Gröfsen von einander abweichen, die allein hinreichen würden, die vorhandenen Unterschiede aus ihnen abzuleiten, was um so leichter statt finden kann, wenn beide Fehler auf eine Seite fallen und sich daher summiren.

401) Es scheint mir am geeignetsten, hier zunächst diejenige Darstellung des ganzen Problems nach ihren wesentlichsten Elementen anzureihen, welche Dulong gewählt hat. Bekanntlich erfand Laplace[1] durch eine der glücklichsten Inspirationen, wie es hier heifst, die Hypothese, dafs man die wirkliche Geschwindigkeit des Schalles in der Luft und überhaupt in den expansibeln Flüssigkeiten erhalten werde, wenn man die nach Newton's Theorie durch Rechnung gefundene Geschwindigkeit mit der Quadratwurzel aus dem Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft unter constantem Drucke zur specifischen Wärme derselben bei constantem Volumen multiplicire[2]. Wie man sich bemüht habe, aus den Versuchen von Clément und Désormes[3], häuptsächlich aber von Gay-Lussac und Welter[4] diesen Coefficienten aufzufinden, was Ivory[5] und Avogadro[6] in Beziehung auf das Problem gethan haben, die Wärmemenge aufzufinden, welche durch Vergröfserung des Volumens einer gegebenen Masse atmosphärischer Luft gebunden und durch Verminderung desselben erzeugt wird, davon war bereits oft die Rede[7], und es möge daher hier genügen, die Ansichten Dulong's über die specifische Wärme der Gase zunächst ins Auge zu fassen, welcher alle Apparate und jeden Grad der Genauigkeit bei anzustellenden Versuchen für ungenügend zur Beantwortung dieser Frage hält, und es daher für weit sicherer erachtet, die wirkliche Ge-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. III. p. 238. Mécan. cél. T. V. p. 123.

2 Vergl. Art. *Schall*. Bd. VIII. S. 412.

3 Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 333.

4 Auf diese stützt sich insbesondere Laplace in Méc. cél. T. V. p. 125.

5 Philos. Magaz. New Ser. T. I. p. 449.

6 Memorie della reale Accademia delle Scienze di Torino. T. XXXIII. p. 237.

7 S. oben: Erzeugung der Wärme durch Compression der Luft. Vergl. Dalton in Manch. Mem. T. V. p. 525.

schwindigkeit des Schalles in jeder elastischen Flüssigkeit zu bestimmen, um diese der Laplace'schen Theorie gemäſs mit der theoretisch gefundenen zu vergleichen. Dabei hält er es für einen erwiesenen Satz, daſs das Quadrat der Schallgeschwindigkeit in einem Gase, dividirt durch die nach NEWTON's Formel berechnete Schallgeschwindigkeit, dem Verhältniſs der beiden specifischen Wärmen gleich sey. Nach LAPLACE's Hypothese ist nämlich[1]

$$V^2 = g\frac{h}{D}(1+0{,}00375\,t) \times k,$$

also

$$k = \frac{V^2}{g\frac{h}{D}(1+0{,}00375\,t)},$$

worin V die wirkliche Schallgeschwindigkeit, h den Barometerstand, D die Dichtigkeit der Gasart gegen Quecksilber, g die Normalgeschwindigkeit fallender Körper in Folge der Schwere, t die Temperatur in Centesimalgraden bezeichnen und sonach k denjenigen Coefficienten, womit die theoretisch gefundene Geschwindigkeit multiplicirt werden muſs, um die wirkliche zu erhalten, welcher dann nichts anderes ist, als das Verhältniſs der specifischen Wärme dieser Gasart unter constantem Drucke zu der unter constantem Volumen. Für atmosphärische Luft ist die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung durch eine Menge Versuche mit hinlänglicher Genauigkeit aufgefunden, für sonstige Gasarten und für Dämpfe ist dieses aber nur durch indirecte Versuche möglich, und wenn dann auf gleiche Weise die Gröſse V auch für diese ermittelt ist, so läſst sich für sie gleichfalls der Werth von k aus der Formel entnehmen. Ueber die Bemühungen der verschiedenen Gelehrten, dieses Problem zu lösen, ohne daſs der erste unter ihnen, CHLADNI, und seine nächsten Nachfolger die Gröſse k hieraus zu bestimmen die Absicht hatten, ist bereits ausführlich gehandelt worden[2]; nicht minder sind die Versuche von DULONG, wodurch er den Factor k mit gröſster Schärfe zu ermitteln suchte, so wie die kaum überwindlichen Schwierigkeiten angegeben, welche mit dem von ihm gewählten Verfahren verbunden sind, und es bleibt daher nur noch übrig, die

1 Vergl. Art. *Schall.* Bd. VIII. S. 404.
2 Ebend. S. 469.

Resultate mitzutheilen, zu denen er auf diesem Wege gelangte. Wird als richtig angenommen[1], dafs eine an beiden Enden offene Pfeife in der Mitte einen Schwingungsknoten beim Tönen erhält, mithin wegen der Gleichheit der Longitudinalschwingungen des erzeugten und des fortgepflanzten Tones die Zahl der einfachen Vibrationen gefunden wird, wenn man die halbe Länge der Pfeife in die Entfernung dividirt, wohin der Schall gelangt, beides für die Zeiteinheit einer Secunde genommen, und dafs sich daher die Weite der Fortpflanzung des Schalles aus der Menge der Vibrationen einer gegebenen Pfeife finden läfst, welche Menge der einfachen Vibrationen durch die Tonhöhe bestimmt ist, und dafs endlich der genannte Factor k für jede einzelne Gasart erforderlich ist, um die Weite der Fortpflanzung des Schalles in einer Secunde theoretisch zu bestimmen, so mufs sich auch der für jede Gasart erforderliche Werth von k oder das Verhältnifs der specifischen Wärme jeder Gasart unter gleichem Volumen zu der unter gleichem Drucke aus der ungleichen Tonhöhe einer und derselben Pfeife beim Einströmen verschiedener Gase in dieselbe finden lassen, vorausgesetzt, dafs die übrigen die Tonhöhe sowohl, als auch die hiermit verbundene Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles, bedingenden Gröfsen hinlänglich berücksichtigt sind. Da man alles dieses als genügend bewiesen betrachtet, auch keiner dieser Sätze der Theorie und zahlreichen Erfahrungen zu Folge durchaus keinem Zweifel unterliegt, mit alleiniger Ausnahme der auf die Gröfse k sich beziehenden Voraussetzung, die aber von Dulong als ein festbegründetes Axiom betrachtet wird, so folgt, wenn für eine und dieselbe Pfeife bei Anwendung verschiedener Gase die aus den Tonhöhen gefundenen Schwingungsmengen in einer Sexagesimalsecunde mittlerer Sonnenzeit durch n für atmosphärische Luft, durch n′ für irgend ein anderes Gas bezeichnet werden, wenn ferner p die Dichtigkeit der Gasart gegen die der Luft als Einheit genommen, t und t′ die Temperaturen der Luft und der verglichenen Gasart und endlich k und k′ die genannten Coefficienten für die eine und die andere bezeichnen, dafs folgende Proportion als richtig gelten müsse:

1 S. Art. *Schall.* Bd. VIII. S. 272.

$$n:n' = \sqrt{(1+0{,}00375\,t)}\,\sqrt{k} : \frac{\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}\,\sqrt{k'}}{\sqrt{p}}.$$

Hierin sind alle Gröfsen bekannt, aufser k' (denn der Werth von k wird durch Dulong aus den Resultaten der genau ermittelten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in atmosphärischer Luft, nicht aber aus den zahlreichen, unter sich jedoch nicht genau übereinstimmenden Versuchen über die Ausscheidung der Wärme durch Compression der Luft, entnommen, welche insgesammt diese Gröfse zu gering geben), und so läfst sich also der Werth von k' für jede Gasart aus den angestellten Versuchen finden. Ist aber letzterer bekannt, so werden hieraus die in folgender Tabelle enthaltenen Bestimmungen entnommen.

| Gase | Werth von k' | Spec. Wärme bei constantem Volumen, die der Luft als Einheit genommen. | Spec. Wärme bei constantem Druck, die der Luft als Einheit genommen. | Spec. Wärme bei constantem Druck nach Delaroche und Bérard. | Temperaturerhöhung durch Compression von $\frac{1}{267}$ des ursprünglichen Volumens bei 0° C. und unter 0,76 Meter Druck. |
|---|---|---|---|---|---|
| Luft . . . . . | 1,421 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0°,421 |
| Sauerstoffgas . | 1,415<br>1,417<br>1,413 | 1,000 | 1,000 | 0,976 | 0,421 |
| Wasserstoffgas | 1,409<br>1,405 | 1,000 | 1,000 | 0,903 | 0,421 |
| Kohlensäure . | 1,337<br>1,340 | 1,249 | 1,175 | 1,258 | 0,337 |
| Kohlenoxydgas | 1,423<br>1,433 | 1,000 | 1,000 | 1,034 | 0,423 |
| Stickstoffoxydg. | 1,343 | 1,227 | 1,160 | 1,350 | 0,343 |
| ölbildendes Gas | 1,240 | 1,754 | 1,531 | 1,553 | 0,240 |

Dulong bemerkt, dafs hauptsächlich seine Bestimmung der specifischen Wärme des Wasserstoffgases von denen anderer Experimentatoren abweiche, was sich jedoch nur auf diejenigen Resultate beziehn kann, die durch ähnliche Versuche, als die seinigen, gefunden wurden, denn die durch Delaroche und

Bérard erhaltene Gröfse weicht nur um 0,024 ab, und da nach Delarive und Marcet die specifische Wärme aller Gase gleich seyn soll, so ist gar kein Unterschied vorhanden. Dagegen fand Dulong den durch ganz reines Wasserstoffgas erzeugten Ton fast zwei Octaven höher, als den durch atmosphärische Luft, Chladni dagegen erhielt nur eine Octave und die kleine Terze oder gar nur eine Octave, und van Rees zwar mehr, aber immer noch $\frac{1}{5}$ zu wenig, in welchem Falle der Factor k hätte negativ seyn, also durch die Schallwellen keine Wärme hätte ausgeprefst, sondern vielmehr einige hätte verschluckt werden müssen.

402) Dulong erläutert die Sache, die an sich nicht eigentlich dunkel ist, ausführlicher, als wohl nöthig seyn dürfte, gelangt aber dadurch zu Resultaten, die im Grunde mit den durch Delarive und Marcet aufgefundenen übereinstimmen, obgleich er diese anfangs in seiner Abhandlung als unzulässig darzustellen scheint, und doch dürfte die von den letzteren Gelehrten angewandte Methode den Vorzug vor der durch Dulong gewählten verdienen, deren Basis ebenso wenig, als die daraus hervorgehenden Folgerungen mit anderweitigen erwiesenen Thatsachen harmoniren, wie bereits an einem andern Orte[1] bemerkt worden ist. Nimmt man die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um eine Gasmasse, deren Volumen unveränderlich bleibt, um 1° C. ihrer Temperatur zu erwärmen, als Einheit an, so wird die Wärmemenge, welche nöthig ist, um dieselbe Masse, sobald sie sich unter ihrem anfänglichen Drucke verbleibend frei ausdehnen kann, um 1° C. zu erwärmen, 1,421 betragen und die Masse wird, wenn man von ihrem Volumen bei 0° ausgeht, um 0,00375 zunehmen. Wird dann angenommen, dafs dieselbe Masse, nachdem sie diese Veränderung der Temperatur und des Volumens erlitten hat, plötzlich ohne Wärmeverlust auf ihr früheres Volumen zurückgebracht würde, so müfste die sich dann einstellende Temperaturerhöhung blofs von der Wärmeportion herrühren, welche dieselbe Masse bei einer Ausdehnung von 0,00375 ohne anderweitigen Wärmeverlust absorbiren würde, und gilt dann die Wärmecapacität des ursprünglichen Volumens als Einheit, so ist der Ueberschufs von 0,421 das Mafs des thermometrischen Effectes,

---

1 S. Art. *Schall.* Bd. VIII. S. 424.

welcher in der Masse bei constantem Volumen durch die 0,00375 betragende Verdichtung hervorgebracht wird. Eben dieser Schlufs gilt auch für die übrigen einfachen elastischen Flüssigkeiten, da die geringen Abweichungen sich leicht als Beobachtungsfehler betrachten lassen, und so folgt also, dafs sie bei gleicher Verdichtung gleiche Temperaturerhöhung geben[1]. Da aber erwiesen ist, dafs die einfachen Gase unter constantem Drucke gleiche specifische Wärmen haben, so erklärt sich dieses am einfachsten aus der Annahme, dafs die Gase auch bei constantem Volumen eine gleiche specifische Wärme besitzen, und dafs sie alle bei gleicher *Condensation* eine gleiche absolute Wärmemenge entwickeln. Für die übrigen, nicht einfachen, gasigen Substanzen folgt aus den Versuchen, dafs das Verhältnifs der beiden specifischen Wärmen im Allgemeinen desto kleiner wird, je gröfser die Wärmecapacität des Gases ist, welchem dieser Coefficient angehört, und diesemnach ist die Temperaturerhöhung, welche in verschiedenen Gasen durch eine gleiche Condensation hervorgebracht wird, desto geringer, je gröfser die specifische Wärme ist. Hiernach findet bei den einfachen Gasen sowohl, als auch bei den zusammengesetzten das nämliche Verhalten statt, und wir gelangen sonach zu folgenden, durch ihre Einfachheit merkwürdigen, Gesetzen: 1) alle Gase, wenn man bei gleicher Temperatur und unter gleichem

---

1 Dieser Satz ist es eben, welcher sich nicht wohl mit der Erfahrung vereinigen läfst, denn es würde folgen, dafs ein Gas, wenn es durch eine Zusammendrückung um 0,00375 seines Volumens 0°,421 Wärme abgäbe, durch eine Zusammendrückung um 2 seines Volumens, also um das Doppelte, nach der Proportion

$$0{,}00375 : 0{,}421 = 2 : x$$

nicht weniger als 224°,8 C. Wärme abgeben müfste. Allerdings soll hier nur die Rede seyn von dem Verhältnifs der specifischen Wärme der Gase unter gleichem Drucke zu der unter gleichem Volumen der Gase, und ein gleiches Volumen ist mit der Compression unverträglich; allein dieses Argument würde nur die Begriffe verdunkeln, wie im folgenden §. gezeigt werden soll, und aufserdem könnte man zu einem gegebenen Volumen Luft ein anderes gleiches Volumen von gleicher Dichtigkeit pressen, Navier gelangt durch einen gelehrten Calcül, wobei er sich auf die Versuche von Clément und Désormes, so wie von Delaroche und Bérard stützt, zu dem Resultate, dafs durch $\frac{1}{116}$ Verminderung des Volumens 1° C. Wärme frei wird. Der grofse Unterschied beider Bestimmungen ist nicht geeignet, Vertrauen zu erwecken.

Drucke ein gleiches Volumen von ihnen nimmt und plötzlich um einen gleichen Bruchwerth dieses Volumens zusammendrückt oder ausdehnt, entwickeln oder verschlucken eine gleiche absolute Wärmemenge; 2) die Temperaturänderungen, die hieraus hervorgehn, verhalten sich umgekehrt wie die specifischen Wärmen bei constantem Volumen.

403) So schätzbar die hier mitgetheilten Versuche auch sind, und so sinnreich die gewählte Methode zur Bestimmung der specifischen Wärmen verschiedener Gasarten auf den ersten Blick auch scheinen mag, so kann dieselbe doch zu keinen genügenden Resultaten führen, weil von vorn herein zwei Dinge als nothwendig mit einander verbunden betrachtet werden, deren Abhängigkeit von einander erst eines genügenden Beweises aus der Erfahrung bedarf. Um sich hiervon zu überzeugen, darf man nur den eigentlichen *Begriff der specifischen Wärme*, wie er nicht blofs in Beziehung auf gasförmige Flüssigkeiten, sondern auch auf Körper von jedweder Aggregatform sachgemäfs festgesetzt ist, und mit den allgemeinen Principien über das Verhalten des Wärmestoffes an sich und in Beziehung auf die Molecüle der Körper im Einklang steht, genau ins Auge fassen. Nehmen wir irgend einen Körper bei einer willkürlichen Temperatur, so enthält derselbe eine gewisse Menge Wärme, d. h. seine Molecüle, die der blofsen Attraction folgend zur unmittelbaren Berührung unter sich gelangen würden, werden durch die sie umgebenden Wärmesphären in einem gewissen Abstande von einander gehalten, welcher durch das stabile Gleichgewicht zwischen der Anziehungskraft der Molecüle unter sich und der Repulsion der Wärme bedingt ist. Dieser vorhandene Wärmestoff wirkt auf diese Weise repulsiv nicht blofs gegen die Molecüle des gegebenen Körpers, sondern auch gegen die eines jeden, in seinen Bereich kommenden, andern Körpers, und er wird daher, um dieses kurz auszudrücken, die Gröfse seiner Spannung auch durch die Grade eines seiner Wirkung ausgesetzten Thermometers kenntlich machen. Wird einem solchen Körper weitere Wärme zugeführt, so mufs die Repulsion wachsen, seine Molecüle werden sich weiter von einander entfernen und sein Volumen mufs sich vergröfsern; eine gleiche Wirkung auf das mit ihm verbundene Thermometer ist hiermit unzertrennlich verbunden, und die Temperatur zeigt sich höher. Hieraus folgt nothwendig, dafs

ein und derselbe Körper, wenn er durch mechanische Gewalt bei der erhaltenen Temperatur genau um soviel zusammengedrückt würde, als er durch die Erhöhung seiner Wärme ausgedehnt ist, und er wieder zur ursprünglichen Temperatur zurückkehrte, genau so viele Wärme abgeben müſste, als er zur Erzeugung der ihm gewordenen Volumensvermehrung aufgenommen hatte; dagegen folgt durchaus nicht, weder aus theoretischen Gründen, noch aus den bisherigen Erfahrungen, daſs zu gleichen Volumensvermehrungen verschiedener Körper, wobei ihre sensibele Wärme zugleich dieselben Grade des Thermometers angiebt, auch gleiche Quantitäten Wärme erfordert werden. Theoretisch kann dieses nicht wohl statt finden, sofern die hierzu erforderliche Wärmemenge durch die Anziehung der Molecüle der gegebenen Körper unter sich und gegen die Molecüle der Wärme bedingt wird, weswegen auch die Ausdehnungen der verschiedenen Körper so bedeutend ungleich sind. Die für die verschiedenen Körper, unter der Voraussetzung, daſs sie ihren Aggregatzustand nicht ändern, erforderliche Wärmemenge, die sie bedürfen, damit ein ihrem Einflusse ausgesetztes Thermometer von einem gegebenen Stande zu einem höheren Stande übergeht (welche Thermometerstände übrigens bei allen gleich seyn müssen) und welche also erforderlich ist, um einen gleichen Zuwachs der in ihnen wirksamen sensibeln Wärme zu erzeugen, heiſst dann ihre *specifische Wärme*, und so fern die Eigenthümlichkeit der Körper, zur Erzeugung dieser Veränderung ihres Zustandes mehr oder weniger Wärme zu bedürfen, in ihnen selbst liegt, legen wir ihnen eine gröſsere oder geringere *Wärmecapacität* bei. Dieser Begriff ist durchaus scharf und bestimmt, und läſst sich auf alle Körper von den verschiedensten Bestandtheilen und bei ungleichem Aggregatzustande anwenden; es folgen aber aus der Natur der Sache einige Bedingungen, welche keineswegs übersehn werden dürfen.

Zuvörderst ist eine Vergröſserung des Volumens unumgänglich nothwendige Bedingung, sobald man die specifische Wärmecapacität zu ermitteln strebt; es kann von dieser nicht die Rede seyn, wenn nicht Wärme hinzukommt und also das bestehende Volumen vermehrt wird, wobei wir das Entgegengesetzte, nämlich Verminderung der Temperatur, ganz unberücksichtigt lassen können, weil die hieraus hervorgehenden

Resultate die nämlichen, wenn auch die umgekehrten sind. Geht man aber von einer gegebenen Temperatur $= t$ aus, und zu einer andern $= t'$ über, wird hierzu eine gewisse Wärmemenge $= (t' - t)\,x$ erfordert, die wir einmal als bekannt und $= a$ annehmen wollen, geht man weiter von der Temperatur $= t'$ zu einer andern $= t''$ über, so dafs $(t' - t) = (t'' - t')$ ist, so mufs nothwendig hierzu eine gewisse Wärmemenge $= (t'' - t')\,x'$ erfordert werden, und dann fragt sich, ob $x' = x$ also $= a$ oder $= a \pm \varDelta a$ seyn wird. Nach theoretischen Gründen ist die Gleichheit beider Werthe höchst unwahrscheinlich, so wie nicht minder die Annahme, dafs $x' = a - \varDelta a$ seyn sollte; denn wenn durch Vermehrung der Wärme das Volumen eines Körpers wächst, mithin seine Molecüle weiter von einander getrieben werden, und sich die Masse der Wärme zwischen ihnen anhäuft, so wird diese, wenn sie auch einen gleichen sensibeln Effect auf das Thermometer ausübt, nicht in gleicher, sondern in verhältnifsmäfsig vermehrter Masse vorhanden seyn müssen, und hiernach müfste $x' = a + \varDelta a$ seyn, was auch mit der Erfahrung übereinstimmt, wie sich später zeigen wird. Wie grofs der absolute Werth dieses Unterschiedes sey, ist schwer zu ermitteln, da es schon eine schwierige Aufgabe ist, aufzufinden, ob überall ein Unterschied statt findet; noch weniger aber darf man hoffen, das Gesetz der Zunahme dieser Vermehrungen mit steigenden Temperaturen genau zu ermitteln. Dieses wäre insofern minder wesentlich, als sich aus den Resultaten der Versuche ergiebt, dafs der absolute Werth dieser Gröfse nur sehr klein ist. Wie dieses aber auch seyn mag, so geht doch hieraus hervor, dafs die für einen gewissen Temperaturunterschied $t' - t$ gefundene specifische Wärmecapacität mit eigentlicher Schärfe weder zu $t$ noch zu $t'$, sondern, und auch dieses nur annähernd, zu $\frac{t' + t}{2}$ gehört. So wie man also das specifische Gewicht eines Körpers auf $0°$ seiner Temperatur reducirt, müfste auch die specifische Wärme auf eine bestimmte Temperatur reducirt werden, wozu aber bis jetzt noch meistens die genauen Bestimmungen fehlen.

404) Berücksichtigen wir, statt wie bisher alle Körper von willkürlicher Aggregatform, speciell die gasförmigen Substanzen, so mufs auf sie das als allgemein gültig Behauptete gleichfalls Anwendung leiden, allein es kommt dann bei ihnen der

hohe Grad der Ausdehnung in Betrachtung, welchen sie durch die Erhöhung der Temperatur erleiden, da sie sich hierdurch im Mittel etwa 100mal stärker, als die meisten starren Körper und ungefähr 8mal stärker, als Wasser ausdehnen. Wenn aber die Ausdehnung der festen Körper nach theoretischen Ansichten einen Einfluſs auf ihre Wärmecapacität haben muſs, und auch die Erfahrung ergiebt, daſs diese mit zunehmender Temperatur wächst, so muſs dieser Einfluſs bei gasförmigen Körpern noch gröſser seyn, und derselbe verdient daher hierbei vorzugsweise berücksichtigt zu werden; inzwischen sind mir keine Versuche bekannt, welche hierüber genügende Auskunft zu geben vermöchten. Nach der Analogie der festen und tropfbar flüssigen Körper zu schlieſsen, müſste man vermuthen, daſs die specifische Wärme auch bei den Gasen mit der Zunahme der Temperatur wachse; wir werden aber später sehen, daſs dieser Einfluſs beim Wasser ungleich kleiner ist, als bei festen Körpern, und wenn wir annehmen, daſs derselbe der Gröſse der Ausdehnung umgekehrt proportional sey, so könnte er bei den Gasen schon negativ werden, und deren specifische Wärmecapacität bei höherer Wärme sogar geringer seyn, dürften die durch Delaroche und Bérard einerseits, und die durch Delarive und Marcet andererseits erhaltenen Bestimmungen als völlig genau gelten, so könnten sie zum Beweise dieses Satzes dienen, denn die mittlere Temperatur der untersuchten Gase war bei den Ersteren eine beträchtlich höhere, als bei den Letzteren, und dennoch fanden jene im Ganzen die specifischen Wärmen der nämlichen Gase geringer, als diese, deren Messungen bei weit geringeren Temperaturen angestellt wurden. Bei festen Körpern ist übrigens die mit wachsender Temperatur zunehmende Wärmecapacität so bedeutend, wie wir bald sehen werden, daſs der Unterschied allerdings Beachtung verdient, bei den Gasen aber scheint letzterer so gering zu seyn, daſs man ihn vorläufig füglich vernachlässigen darf; auf jeden Fall kann aber dieser Umstand der Bestimmung der specifischen Wärmecapacität der Körper überhaupt nicht im Wege stehn.

405) Eine zweite Eigenthümlichkeit der Gase, die sich bei tropfbaren Flüssigkeiten und festen Körpern gar nicht findet, auf die Bestimmung der specifischen Wärmen aber nothwendig einen bedeutenden Einfluſs ausüben muſs, ist eben ihre Expansion, wodurch die Gröſse der zu den jedesmaligen Versuchen

verwandten Masse ausnehmend bedingt wird. Inzwischen sind die hierüber bestehenden Gesetze mit so grofser Genauigkeit fest begründet, dafs die hieraus entnommenen Correctionen dem Bedürfnifs vollkommen Genüge leisten, und man daher jederzeit mit gröfster Schärfe die zu den Versuchen verwandten Massen zu bestimmen vermag. Handelt es sich daher um die Aufgabe, die specifische Wärme der Gase aufzufinden, so kann die Bestimmung der zu den Versuchen verwandten Massen durchaus keine Schwierigkeiten machen, von der andern Seite betrachtet gestaltet sich aber die Aufgabe ganz anders, und wird ungleich verwickelter.

Nach dem so eben aufgestellten Satze wird jede Gasart, wenn man sie um einen aliquoten Theil ihres Volumens zusammendrückt, gerade so viel Wärme hergeben, als sie aufnehmen müfste, um aus dem durch Compression erhaltenen Volumen bei ungeändertem Drucke und gleichbleibender Temperatur wieder zum ursprünglichen Volumen zurückzukehren. Die hierdurch erzeugte oder absorbirte Wärme hat aber, genau genommen, mit ihrer specifischen Wärmecapacität nichts gemein, mindestens darf sie mit dieser nicht als identisch betrachtet werden, vielmehr gehört sie zur Classe der durch Compression frei gewordenen Wärme. Allerdings ist, wie so eben gleichfalls gezeigt wurde, bei der Untersuchung der specifischen Wärme unter constantem Drucke eine Vergröfserung des Volumens unvermeidlich, weil keine Versuche ohne den Uebergang der Gase von einer Temperatur zu einer andern denkbar sind, und hiermit eine Veränderung des Volumens nothwendig verbunden ist, wenn die Bedingung des gleichbleibenden Druckes verlangt wird; allein eben diese Veränderung des Volumens findet auch bei tropfbar flüssigen und starren Körpern, wenn gleich in einem weit geringeren Grade statt. So wenig es aber geeignet seyn würde, die specifische Wärme eines festen Körpers, z. B. des Kupfers, aus der Quantität Wärme zu bestimmen, welche durch Compression desselben um einen aliquoten Theil seines Volumens frei wird, ebenso wenig kann dieses auch bei den Gasen geschehn[1]. Wird

---

1 Auf ein hiermit allerdings zusammenhängendes Verhalten der Gase lege ich gar kein Gewicht, und ziehe dasselbe daher nicht in den Bereich der vorliegenden Untersuchung. Bekanntlich werden, wo nicht gewifs, doch muthmafslich alle Gase durch Entziehung der

dieses aber zugegeben, so kommt man offenbar in einen Widerspruch mit den so eben aufgestellten Sätzen; denn wenn diejenige Wärme die specifische einer Gasart heifst, welche erforderlich ist, dieselbe von einer gewissen Temperatur = t bis zu einer höheren = t' zu erwärmen, wobei dann zugleich ihr Volumen v in ein anderes = v' übergeht, gleichbleibenden äufseren Druck vorausgesetzt, so scheint es auf den ersten Blick, als sey dieselbe identisch mit derjenigen, welche aus dem Gase ausgeprefst wird, wenn man dasselbe wieder bis zu seinem anfänglichen Volumen V zusammenprefst und zur anfänglichen Temperatur = t zurückbringt. Eine nähere Betrachtung zeigt aber bald den wesentlichen Unterschied zwischen beiden. Ist von *specifischer Wärme* der Gase die Rede, so mufs nach der Analogie mit allen übrigen Körpern diejenige darunter verstanden werden, welche erfordert wird, dasselbe von der Temperatur t auf die Temperatur t' zu bringen, wobei dann die gleichzeitige Ausdehnung des Gases nur etwas Hinzukommendes ist, was bei allen andern Körpern gleichfalls, aber in einem geringeren Grade, statt findet. Wird dagegen ein Gas zusammengedrückt, so geht es von der Temperatur t zur Temperatur t' über, und die hierdurch frei werdende Wärme müfste eigentlich zunächst *Wärme durch Compression* genannt werden, man hat aber beide Arten von Wärme neuerdings *specifische Wärme unter constantem Drucke* und *specifische Wärme unter constantem Volumen* genannt.

Um beide besser mit einander zu vergleichen, wollen wir

---

Wärme und durch Compression tropfbar flüssig, und ändern daher ihren Aggregatzustand. Ebenso wenig, als dieses, wird aber gleichfalls bestritten, dafs dieselben Körper in ihren verschiedenen Aggregatzuständen auch verschiedene specifische Wärmecapacitäten haben, mindestens ändern sich die letzteren sehr bedeutend beim Uebergange aus dem einen in den andern, und sind auf jeden Fall während dieses Ueberganges nicht mefsbar. Man könnte daher annehmen, dafs die Gase sich in Folge jeder Compression und Wärmeentziehung in diesem Uebergange befänden, mithin keine Untersuchung ihrer specifischen Wärme gestatteten; allein die geringe, bei den Versuchen dieser Art vorkommende Abkühlung oder Compression kann um so weniger in Betrachtung gezogen werden, als die Veränderung der Aggregatform durch starken Druck und sehr intensive Kälte plötzlich erfolgt.

annehmen, es sey $t' = t + \alpha$, wobei t jede willkürliche Temperatur bezeichnen kann. Wird bei gleichbleibendem Drucke die Temperatur des Gases um $\alpha$ erhöhet, so verwandelt sich das Volumen V in V' oder in $V + \omega$, und dem Gase mufs daher $\alpha$ Temperatur zugeführt werden, wenn eine Volumensvermehrung von $\omega$ erzeugt werden soll. Nimmt man dagegen ein Volumen Gas $= V$ bei der Temperatur t, und bringt man es durch Compression auf ein Volumen $V'' = V - \omega'$, so wird seine Temperatur von t zu $t + \alpha'$ übergehn. Berücksichtigen wir hierbei blofs die Unterschiede der Temperaturen, sofern im ersten Falle $\alpha$ zugeführt, im zweiten $\alpha'$ frei wird, in beiden Fällen aber diese Ueberschüsse in der als gleich angenommenen und unveränderten Masse des Gases vorhanden sind, so fragt sich, wie beide sich zu einander verhalten, und dieses Verhältnifs wäre dann das, was man durch specifische Wärme unter constantem Drucke und unter constantem Volumen versteht. Als genügend erwiesen darf gelten, dafs für $\alpha = 1$ die Gröfse $\omega = 0{,}00375$ wird, oder dafs jede Gasart sich durch Erhöhung ihrer Temperatur um $\frac{1}{267}$ seines Volumens ausdehnt, zugleich aber sagt Dulong ausdrücklich, dafs durch die Compression jeder Gasart um $\frac{1}{267}$ ihres Volumens 1° C. frei werde, und hiernach müfsten bei gleich seyn, es könnte also kein anderes Verhältnifs zwischen der specifischen Wärme unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen, als das der Gleichheit statt finden; allein so gewifs der erste Satz durch Erfahrung begründet ist[1], ebenso wenig stimmt der letzte mit den darüber angestellten Versuchen überein[2], theoretisch betrachtet würde derselbe aber zu Folgerungen führen, die sich nicht wohl mit unbestreitbaren Thatsachen vereinigen lassen. Denken wir uns ein gewisses Volumen Gas $= V$ von gegebener Masse, welchem zu seiner Temperatur $= t$ noch Wärme $= \alpha$ zugeführt wird, so dafs hiernach sein Volumen um die Gröfse $\omega$ wächst, so mufs die Temperatur desselben $= t + \alpha$ bleiben, wenn bei fortdauernd gleichem Drucke das Volumen $= V + \omega$ bleiben soll. Wird dann dieses Volumen $= V + \omega$ so weit

1 Es ist aufserwesentlich, die ältere Bestimmung von 0,00375 für die Ausdehnung der Gase durch 1° C. statt der neuesten richtigern beizubehalten.

2 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1008.

zusammengedrückt, dafs es wieder zum früheren V übergeht, so steigt die Temperatur von $t + \alpha$ zu der höheren $t + \alpha + \alpha'$, und $\alpha'$ wird frei, die Elasticität des Gases (oder der Druck desselben) geht aber nicht zu derjenigen zurück, welche es vor seiner Ausdehnung durch Wärme besafs und welche der Temperatur t zugehörte, sondern zu derjenigen, welche zur Temperatur $t + \alpha$ gehört, als welche ihm auch nach der Zusammendrückung und nach dem Abgeben von $\alpha'$ bleibt; erst nachdem es dann noch $\alpha$ abgegeben hat, wird es unter unverändertem Volumen seine ursprüngliche Elasticität wieder erhalten. Hieraus folgt aber keineswegs, dafs $\alpha = \alpha'$ seyn sollte, und ebenso wenig ist die Folgerung begründet, dafs durch Zusammendrückung eines Gases um einen aliquoten Theil seines Volumens gerade so viel Wärme frei werden sollte, als erforderlich ist, dasselbe bei unverändertem Drucke um einen gleichen aliquoten Theil auszudehnen; denn der physische Zustand desselben ist in beiden Fällen verschieden, sofern es im ersteren eine gröfsere Dichtigkeit hat als im letzteren, und in jenem seine Molecüle einander näher gebracht sind als in diesem. Es könnte dieses nur dann statt finden, wenn die einer gegebenen Masse eines Gases zugehörige Wärmemenge von der Zahl seiner Molecüle unabhängig wäre, und blofs dem eingenommenen Raume zugehörte, in welchem Falle die durch Verminderung dieses Raumes frei gewordene Wärme genau so viel betragen müfste, als die zum Erfüllen eines vergröfserten Raumes erforderliche. Läfst sich gleich nicht beweisen, dafs ein solches Verhalten unstatthaft sey, so folgt seine Wirklichkeit doch keineswegs von selbst, und es mufs daher die specifische Wärme der Gase, d. h. diejenige Menge, welche erforderlich ist, um eine gegebene Masse von einer Temperatur t auf eine andere $t + \alpha$ zu bringen, ebenso wohl als diejenige, welche dadurch frei wird, dafs man dieselbe Masse von dem Volumen V auf das kleinere $v - \omega$ zurückbringt, durch Versuche ausgemittelt werden, wozu sich jedoch die durch Dulong angestellten nicht eignen, weil sie auf noch unerwiesenen Sätzen beruhn. Mit Recht wendet aufserdem Suerman[1] gegen dieselben ein, dafs die Gleichheit der specifischen Wärme bei den verschiedenen elastischen Flüssigkeiten aus ihnen nicht folge,

1 Dissert. de calore fluidorum elast. specifico. p. 63.

weil die drei Versuche mit Sauerstoffgas und die zwei mit Wasserstoffgas angestellten nach derselben Seite hin abweichen; aufserdem aber sey die Aehnlichkeit der specifischen Wärmen, wie sie Dulong aus seinen Versuchen berechne und aus denen von Delaroche und Bérard ableite, keineswegs so grofs, dafs die von jenem daraus entnommenen Folgerungen als genügend begründet erscheinen könnten.

406) Uebergehn wir demnach die Bemühungen der Gelehrten, welche darauf gerichtet sind, die durch Compression der Gase frei werdende Wärme aufzufinden[1], und betrachten wir nur diejenigen, welche geeignet sind, die specifische Wärme derselben der Feststellung dieses Begriffes gemäfs anzugeben, so verdienen zunächst die von James Apjohn erwähnt zu werden. Die Resultate seiner ersten Versuche machte er in der Versammlung der brittischen Naturforscher im Jahre 1835 bekannt[2], und äufserte dabei, dafs die von ihm angewandte Methode eine neue, von ihm erfundene sey, gegründet auf die durch Verdunstung entstandene Kälte. Die Formel, deren er sich bediente, um aus den durch Versuche gefundenen Gröfsen die specifische Wärme der Gase zu ermitteln, ist folgende:

$$f'' = f' - \frac{48\,a\,d}{e} \times \frac{p}{30},$$

woraus

$$a = \frac{(f' - f'')\,e}{48\,d} \times \frac{30}{p}$$

gefunden wird, wenn $f''$ die Elasticität des Wasserdampfes beim Thaupuncte; $f'$ seine Elasticität bei der Temperatur $t'$, welche das benetzte Thermometer angiebt; d den Unterschied dieser Temperatur und der Temperatur der Luft $= t$; e die Elasticitätswärme des Wasserdampfes bei seiner durch $f'$ ausgedrückten Spannung; a endlich die specifische Wärme der zu den Versuchen genommenen Gasart bezeichnet. Diese Formel,

---

1 Der Vollständigkeit wegen erwähne ich H. Meikle in Edinburgh New Phil. Journ. N. IV. p. 328. Vergl. N. II. p. 332. Uebrigens vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1008.

2 Official report of the Proceedings cet. at the Dublin Meeting. Aug. 1835, daraus in Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 385. L'Institut 1835. p. 413. Ann. des Mines T. IX. Liv. II. p. 275.

welche nach Suerman[1] mit der von Gay-Lussac[2] gewählten nahe übereinstimmt, wird durch Poggendorff[3] für unrichtig erklärt, indem vielmehr die von Gay-Lussac aufgestellte die richtige sey, wonach

$$\varphi(t').\delta\lambda = \Delta x[p - \varphi(t')](t - t')$$

ist, worin p den Barometerstand; t die Temperatur des trocknen Gases; t' die Temperatur des mit Wasserdampf gesättigten; $\varphi(t')$ die Spannkraft des Wasserdampfes bei der Temperatur t'; $\delta$ dessen specifisches Gewicht gegen das der Luft $= 1$; $\lambda$ die latente Wärme desselben; x die gesuchte specifische Wärme des Gases unter constantem Druck gegen die eines gleich grofsen Gewichts Wasser als Einheit angenommen bezeichnen. Hierzu kommt aber noch, dafs $\Delta$, d. h. das specifische Gewicht des Gases, ebenso wie das der atmosphärischen Luft, in jener oberen Formel gleich Eins gesetzt ist. Auch Hudson[4] hat sich gegen die von Apjohn angewandte Formel, hauptsächlich aber in Hinsicht der gewählten numerischen Gröfsenbestimmungen erklärt, inzwischen scheint es uns geeignet, sowohl diese Discussion, als auch die Beschreibung seines zuerst angewandten Apparates und der damit erhaltenen Resultate zu übergehn, um so mehr, als er selbst beide für unvollkommen erklärt. Apjohn[5] wurde aber später mit den Leistungen anderer Gelehrten, namentlich den gleich zu erwähnenden von Suerman bekannt, prüfte seine Formel abermals, und stellte eine neue Reihe von Versuchen an, hauptsächlich deswegen, weil er die von ihm für Wasserstoffgas gefundene Bestimmung nicht wohl mit der durch Delaroche und Bérard erhaltenen vereinigen konnte und die Abweichung gröfser fand, als dafs sie eine Folge der begangenen Fehler seyn konnte.

Der erste Apparat, dessen sich Apjohn bediente, bestand blofs aus einer in Form eines U gekrümmten, etwas weiten Glasröhre, welche unten mit Schwefelsäure gefüllt war, damit

---

1 Poggendorff's Ann. XXXI. 476.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 82.

3 Dessen Ann. T. XXXIX. p. 521. Vergl. §. 465. Anm.

4 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLIV. p. 21.

5 Report of the Sixth meeting of the Brit. As. Lond. 1837. p. 33. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXXII. p. 261. LXXXIII. p. 339.

das durch diese getriebene Gas völlig trocken würde. An dem entgegengesetzten Schenkel von dem, in welchen das Gas eintrat, war eine horizontale Glasröhre befestigt, durch welche das austretende Gas strömte. In diesem befand sich ein Thermometer, um die Temperatur des ausgetrockneten Gases zu messen, ehe es mit einem zweiten, gleichfalls in dieser Röhre befindlichen, mit benetztem Musseline überzogenen Thermometer in Berührung kam, und die Wärme, welche beide zeigten, gaben dann die Elemente zur Berechnung. Sein später gebrauchter Apparat dagegen bestand aus zwei kupfernen Gasometern A und B, mit Vitriolöl statt Wasser gefüllt, worein zwei Glasglocken C und D gesenkt wurden. Sie standen auf einem Tische etwa 3 Fuſs von einander, und hatten jedes einen Hahn m und n, an welchen an dem einen eine weitere, an dem andern eine engere Glasröhre mittelst Federharz festsaſsen, deren andere Enden luftdicht eingeschmirgelt waren, so daſs sie schlieſsend in einander gesteckt wurden. In der weiteren Glasröhre befand sich das trockene Thermometer t, in der engeren das benetzte t'; ein Gehülfe drückte die durch Vitriolöl gesperrte und die über der Säure ausgetrocknete Luft enthaltende Glocke nieder, so daſs die Luft durch die Röhren strömte, während der Beobachter mittelst einer Linse den Stand der Thermometer ablas und aufzeichnete, sobald das benetzte einige Secunden stationär geworden war. Zur Erleichterung dieser Operation war an die messingnen Fassungen E und F der Glocken ein Seil geknüpft, welches über die Rollen G und H lief, und so gespannt war, daſs die eine Glocke den Boden des Gasometers erreichte, wenn die andere mit ihrem unteren Rande die obere Fläche der Schwefelsäure berührte. Es bedurfte dann nur noch, daſs der Stand des Barometers abgelesen wurde, um die erforderlichen Gröſsen für die angegebene Formel

Fig. 64.

$$a = (f' - f'')\frac{e}{48\,d} \times \frac{p}{30}$$

zu erhalten. Waren die Versuche mit andern Gasen angestellt, so wurden diese genau analysirt, und fanden sich in denselben n Procente atmosphärische Luft, so wurde eine Correction angebracht nach der Formel

$$a' = a + \frac{(a - e)\,n}{100 - n},$$

worin $e = 0,267$ die specifische Wärme der atmosphärischen Luft und $a'$ die corrigirte specifische Wärme des untersuchten Gase sbezeichnet. Apjohn hat die von ihm gefundenen specifischen Wärmen mit den durch Delaroche und Bérard, desgleichen durch Dulong erhaltenen zur besseren Vergleichung in folgender Tabelle neben einander gestellt.

| Gase | Apjohn | Delaroche u. Bérard | Dulong |
|---|---|---|---|
| atmosphärische Luft | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Stickstoffgas . . . | 1,048 | 1,006 | 1,000 |
| Sauerstoffgas . . . | 0,808 | 0,976 | 1,000 |
| Wasserstoffgas . . | 1,459 | 0,900 | 1,300 |
| Kohlensäure . . . | 1,195 | 1,258 | 1,172 |
| Kohlenoxydgas . . | 0,996 | 1,034 | 1,000 |
| Stickstoffoxydul . | 1,193 | 1,350 | 1,159 |

Aus diesen Resultaten folgert er erstlich dafs das von Haycraft, Marcet und Delarive und andern gefundene Gesetz, wonach die einfachen Gase unter gleichem Drucke gleiche specifische Wärme haben sollen, falsch sey; zweitens dafs Dulong's Gesetz, wonach die einfachen Gase bei constantem Volumen dieselbe specifische Wärme haben sollen, für Wasserstoffgas nicht gelten könne, und drittens dafs das einfache Verhältnifs zwischen den specifischen Wärmen und den Atomgewichten (§. 426 ff.) nicht statt finden könne. Prüft man aber diese Versuche genauer, namentlich in Beziehung auf den Einflufs der Gefäfse, die unvermeidlich ungleiche Zusammendrückung der Gase u. s. w., und berücksichtigt man ferner die geringe, zu den Versuchen jederzeit genommene Quantität und die gesammte Einrichtung der Versuche, so kann man nicht umhin zu gestehen, dafs dieselben den bereits beschriebenen nicht gleich kommen, und die erhaltenen Resultate deswegen kein unbedingtes Vertrauen erwecken können.

407) Gleichzeitig mit Apjohn und auch später, nachdem ihm die Versuche des Letzteren schon bekannt geworden waren, stellte auch Suerman[1] wiederholte schätzbare Versuche

---

1 Dissertatio physica inauguralis de calore fluidorum elasticorum

nach der nämlichen Methode an. Der Apparat, dessen er sich dazu bediente[1], bestand aus zwei Gasometern, deren jeder 38 Liter faſste. Um das Gas aus diesen gleichmäſsig ausströmen zu machen, bediente er sich der bekannten Vorrichtung, in gleichen Zeiten eine gleiche Menge Wassers in sie flieſsen zu lassen, wodurch die Luft aus ihnen gleichfalls in einem stets gleichmäſsigen Strome ausgetrieben wurde[2]. Beide Gasometer waren gleich groſs, und diesemnach war die Einrichtung so getroffen, daſs das aus dem einen in das andere übergeführte Gas in den ersten wieder zurücktrat, und auf diese Weise zu mehreren wiederholten Versuchen diente. Um zu verhüten, daſs das Gas vom Sperrwasser absorbirt werde, weswegen Delaroche und Bérard dasselbe in Thierblasen oder Kautschuck-Schläuchen eingeschlossen hatten, enthielten die Reservoire statt gemeinen Wassers eine concentrirte Lösung von Kochsalz, welches das Absorptionsvermögen bedeutend vermindert. So fand sich dann auch, daſs Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, Kohlenoxydgas und selbst Stickstoffoxydulgas nach mehrmaligem Durchleiten nur eine geringe Spur von atmosphärischer Luft aufgenommen hatten. Trockenheit der Gase ist bei dieser Art zu experimentiren weit mehr erforderlich als bei allen andern. Um hierüber versichert zu seyn, ging der Gasstrom nach seinem Austritt aus dem Gasometer zuerst auf den Boden einer groſsen Woulff'schen Flasche herab, die mit Schwefelsäure gefüllt war, worin zur Vergröſserung der Oberfläche und um das Gas mehr zu vertheilen, Glasstücke lagen, dann durch einen 90 Decim. langen, 73 Millim. weiten, mit Chlorcalcium gefüllten gläsernen Cylinder. Auf diese Weise vollkommen ausgetrocknet wurde es in eine gekrümmte Weiſs-

---

specifico cet. scrips. Alex. Car. Guil. Suerman. Traj. ad Rhen. 1836. gr. 4. Ein gedrängter Auszug in Poggendorff's Ann. XLI. 474. Ann. de Chim. et Phys. T. LXIII. p. 315.

1 Eine ausführliche, durch Figuren erläuterte Beschreibung desselben findet man in der angegebenen Dissertation; sie erfordert aber, um verstanden zu werden, zu viele Zeichnungen und eine zu specielle Angabe aller einzelnen Theile, als daſs ich ihre Aufnahme für angemessen halten könnte.

2 Das Princip dieser Art Vorrichtungen findet sich in Art. *Aerostatik.* Bd. I. S. 259. und Art. *Gasometer.* Bd. IV. S. 1129. Vergl. Pouillet Élémens de Physique 3me éd. T. I. p. 195 ff.

blechröhre geleitet, deren beide aufstehende Schenkel feine Thermometer von Greiner enthielten, die das Ablesen von $\frac{1}{32}$ Cent. Graden gestatteten. Beider Kugeln konnten nach ihrer Stellung nicht auf einander einwirken; das erste Thermometer diente aber dazu, die Temperatur des aus dem Trockenapparate austretenden Gases zu bestimmen; das zweite, welches die durch Verdunstung erzeugte Kälte angab, und dessen Kugel daher mit Battist umhüllt war, konnte mittelst einer Schraube nach Belieben herausgenommen werden, um die Kugel von Zeit zu Zeit zu befeuchten. Während des Oeffnens dieser Schraube ward der Druck etwas verstärkt und dadurch verhütet, daſs keine fremde Luft eindrang, indem vielmehr von dem zum Versuche dienenden Gase eine Kleinigkeit entwich. Zwischen beiden Thermometern befand sich ein Manometer, um den Druck des strömenden Gases zu messen. Hauptsächlich ward erfordert, den Stand des befeuchteten Thermometers, wobei es stationär wurde, genau zu erhalten. Zu diesem Ende diente die bekannte Methode des Schwankens über und unter dem gesuchten Mittel, deren sich auch Delaroche und Bérard bedient hatten. Das befeuchtete Thermometer wurde etwas unter die gesuchte Temperatur erkaltet, und nach dem Einbringen desselben die Zunahme der Temperatur bis nahe zum Puncte seiner stationären Wärme beobachtet, durch momentanes Schlieſsen des Hahns und kurze Unterbrechung des Gasstromes nahm das Thermometer Wärme von auſsen auf, überschritt um eine Kleinigkeit das gesuchte Mittel, und nach dem Wiederöffnen des Hahns gaben die Beobachtungen in gleichen Zeitintervallen als vorher beim Steigen desselben eine absteigende Reihe; der Mittelwerth aus den Endtemperaturen beider Reihen aber gab dann die gesuchte Temperatur genau. Weil aber gewöhnlich eine vollkommene Coincidenz statt fand, so genügten meistens einige Beobachtungen in absteigender und dann einige in aufsteigender Reihe, aus denen das Mittel als die richtige gesuchte Gröſse galt.

Es ergab sich bei den ersten Versuchen ein bedeutender Unterschied zwischen der beobachteten und der nach Gay-Lussac's Theorie berechneten Verdunstungskälte, indem die Erfahrung stets hinter der Theorie zurückblieb. Beide Gröſsen kamen sich indeſs stets um so näher, je rascher die Gasart strömte, und daher argumentirte Suerman mit Recht, daſs die

Menge des gebildeten Dampfes mit der Geschwindigkeit des Gasstromes wächst, und hieraus also keine Einwirkung auf die stationäre Temperatur hervorgehn kann, indem die einerseits absorbirte und andererseits zugeführte Wärme stets das nämliche Verhältnifs beibehalten; der Unterschied zwischen Theorie und Erfahrung kann also keine andere Ursache haben als die das benetzte Thermometer umgebende Hülle, welche verhältnifsmäfsig so viel mehr Wärme durch Strahlung zusendet, je länger der Procefs dauert, deren Einflufs daher, sofern er blofs von dem Unterschiede der Temperaturen des Thermometers und der Hülle abhängt, um so geringer wird, je schneller das Gas zuströmt und Dampfbildung statt findet. Diesen Einflufs der Hülle zu bestimmen und zu corrigiren würde bei einem so complicirten Processe vergebens seyn[1], und es blieb daher kein Mittel übrig, ihn unschädlich zu machen, als die Schnelligkeit des Gasstromes zu verstärken. Um dieses zu bewerkstelligen, wurde das Reservoir des einfliefsenden Wassers in einen oberen Stock gebracht, um dadurch den Wasserdruck zu verstärken, von der andern Seite aber wurde der Schenkel des Hebers, durch welchen das Wasser aus dem andern Gasometer abflofs, proportional verlängert, um durch schnelleres Abfliefsen eine Saugkraft zu erzeugen und einen stärkeren Druck des Gases zu vermeiden. Auf diese Weise liefs sich erreichen, dafs das zwischen beiden Thermometern befindliche Manometer während der Dauer der Beobachtung nicht schwankte, und zwar um so weniger, je vollständiger zufällige Unterschiede des Druckes sich mittelst des zwischen dem Reservoir und dem Gasometer befindlichen Hahns reguliren liefsen. Beiläufig möge bemerkt werden, dafs die hierdurch erreichte Geschwindigkeit des Strömens 50 Liter Gas binnen 10 Minuten betrug.

Die zu den Versuchen verwandten Gase wurden mit der erforderlichen Sorgfalt durch einen geübten Chemiker van Stetten bereitet; um aber die Röhren und Trockenapparate mit ihnen zu füllen, diente das Hülfsmittel, sie mehrmals mit dem erforderlichen Gase gefüllt auszupumpen, damit die beim Exant-

---

1 Die Gröfse der Strahlung im luftleeren Raume und auch in einer ruhenden Luftmasse ist zwar genügend bekannt, vergl. oben *Strahlung*, allein nicht unter der Bedingung einer statt findenden Strömung und obendrein bei vorhandener Dampfbildung.

liren zurückbleibenden geringen Antheile atmosphärischer Luft bis auf einen nicht in Betrachtung kommenden Rest verschwanden. Aus den gefundenen Gröfsen wurde die Wärmecapacität der Gase nach folgender Formel berechnet:

$$c = \frac{5e'(650 - t')}{8\varrho(t - t')(p - e')},$$

worin c die specifische Wärmecapacität der Gase unter constantem Drucke, t die Temperatur des trocknen und t' die des befeuchteten Thermometers, p den Luftdruck, e' die Elasticität des Wasserdampfes im Zustande seiner gröfsten Dichtigkeit bei der Temperatur t', $\varrho$ endlich das specifische Gewicht des Gases bezeichnet. Das Verhältnifs 5 zu 8 endlich drückt dasjenige aus, welches für gleiche Temperaturen und gleichen Barometerdruck zwischen der Dichtigkeit der Luft und des Wasserdampfes statt findet. Suerman glaubt einen oft begangenen Fehler zu vermeiden, indem er für die latente Wärme des Dampfes statt 550° C., welche für eine Temperatur von 100° gilt, die veränderliche Gröfse 650° — t' wählt, weil nicht die latente Wärme des Dampfes eine bei jeder Temperatur constante Gröfse ist, sondern die Summe der latenten und sensibeln Wärme desselben.

408) Ohne die einzelnen, durch Suerman gefundenen Gröfsen herzusetzen, wird es genügen, hier mitzutheilen, dafs mit atmosphärischer Luft 12; mit Sauerstoffgas 9; mit Wasserstoffgas 9; mit Kohlenoxydgas 6; mit Stickstoffoxydul 6; mit Kohlensäure 8 Versuche angestellt wurden, welche mit sehr geringen Unterschieden überraschend genau übereinstimmen, und aus denen daher, ohne dafs es einer Ausschliefsung bedurfte, das Mittel genommen ist. Die specifischen Gewichte der Gase, auf das der Luft als Einheit reducirt, sind für Sauerstoffgas = 1,1026; für Wasserstoffgas = 0,0688; für Kohlenoxydgas = 0,9678; für Stickstoffoxydul = 1,5269 und für Kohlensäure = 1,5254 angenommen. Zur besseren Uebersicht stellt Suerman die durch ihn erhaltenen, auf die angegebene Weise berechneten und auf die der atmosphärischen Luft als Einheit reducirten Resultate mit denen zusammen, welche Delaroche und Bérard, desgleichen Apjohn gefunden haben.

| Gase | Specifische Wärme bei gleichem Volumen: Delaroche u. Bérard | Apjohn | Suerman | Specifische Wärme bei gleichen Gewichten: Delaroche u. Bérard | Apjohn | Suerman |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Luft . . . . . . . | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| Sauerstoffgas . . | 0,9765 | . . . . | 0,9954 | 0,8848 | . . . . | 0,9028 |
| Wassersoffgas . . | 0,9033 | 1,8948 | 1,3979 | 12,3401 | 27,5407 | 20,3191 |
| Stickgas . . . . . | 1,0000 | 0,9887 | 1,0005 | 1,0318 | 1,0169 | 1,0293 |
| Kohlenoxydgas . | 1,0340 | 1,0808 | 0,9923 | 1,0805 | 1,1167 | 1,0253 |
| Stickstoffoxydul | 1,3503 | 1,1652 | 1,1229 | 1,8878 | 0,7631 | 0,7354 |
| Kohlensäure . . | 1,2585 | 1,0916 | 1,0655 | 0,8280 | 0,7161 | 0,6975 |

Das Verhältniſs der specifischen Wärme der Luft zu der des Wassers ist durch Suerman anders gefunden worden, als durch Delaroche und Bérard, und es dürfte angemessen seyn, auch hiernach die verschiedenen Werthe zusammenzustellen.

Specifische Wärme gegen die des Wassers als Einheit.

| Gase | Delaroche und Bérard | Suerman |
|---|---|---|
| Luft . . . . . . . | 0,2669 | 0,3046 |
| Sauerstoffgas . . | 0,2361 | 0,2750 |
| Wasserstoffgas . | 3,2936 | 6,1892 |
| Stickstoffgas . . . | 0,2754 | 0,3135 |
| Kohlenoxydgas . | 0,2881 | 0,3123 |
| Stickstoffoxydul | 0,2369 | 0,2240 |
| Kohlensäure . . | 0,2210 | 0,2124 |

Suerman bemerkt selbst, daſs die von ihm gefundenen Werthe, mit Ausnahme der beiden letzten, insgesammt gröſser sind[1], und er betrachtet dieses als eine Folge der Wärme,

1 Suerman fand durch spätere im folgenden §. erwähnte Versuche die specifische Wärme der atmosphärischen Luft gegen Wasser als Einheit genommen = 0,2835, und er hält diese Bestimmung für die richtigere. Wollte man hiernach die übrigen Werthe corrigiren, so würde die Uebereinstimmung weit genauer werden, die beiden letzten Bestimmungen aber allzusehr abweichen. Ich habe daher Bedenken

welche das befeuchtete Thermometer durch Strahlung von der Röhrenwand erhielt, denn diese vermindert die Verdungstungskälte, und da die letztere sich umgekehrt verhält, wie die specifische Wärme, so mufs das, was die erstere vermindert, die letztere vergröfsern. Inzwischen müfste diese Ursache auf alle Gase gleichmäfsig wirken, was jedoch mit den Resultaten nicht übereinstimmt. Nach Dulong ist die verschiedene Beweglichkeit der Theilchen eines Gases die vorzüglichste Quelle von Fehlern bei der Bestimmung ihrer specifischen Wärmen, und es fragt sich daher, ob wir diese auch im vorliegenden Falle als einwirkend zu betrachten haben, was jedoch nach Suerman nicht statt finden kann. Die genannte Eigenschaft ertheilt nämlich den Gasen ein verschiedenes Erkaltungsvermögen, weil die Verdunstung z. B. in Wasserstoffgas schneller vor sich geht als in Kohlensäure, mithin die Verdunstungskälte der letzteren verhältnifsmäfsig kleiner seyn mufs, als des ersteren; da aber die berechnete specifische Wärme der beobachteten Kälte umgekehrt proportional ist, so müfste hiernach die specifische Wärme des Wasserstoffgases zu klein, die der Kohlensäure aber zu grofs gefunden seyn, wovon gerade das Gegentheil statt findet. Leichter läfst sich der Fehler gleichfalls aus der Wärmestrahlung der Hülle ableiten. Es war nämlich zwar die Geschwindigkeit der Strömung bei jeder Gasart gleich, allein wegen ihrer ungleichen Dichtigkeit war die in gleichen Zeiten durchströmende Gasmenge allerdings verschieden, und betrug z. B. in 7,5 Minuten bei atmosphärischer Luft 49,48 Gramm, bei Wasserstoffgas 3,4 und bei der Kohlensäure 75,28 Gramm. Hiernach mufste die Menge des Dampfes, welche sich durch die vom Wasserstoffgas abgegebene Wärme bilden konnte, weit kleiner seyn als die, welche durch ein gleiches Volumen Kohlensäure erzeugt wurde; die Einwirkung der Strahlung mufste ebendaher im ersten Falle weit gröfser seyn als im letzten, und die berechnete specifische Wärme des Wasserstoffgases wird daher leichter von der Wahrheit sich entfernen als die der schwereren Gase.

409) Suerman wirft, wie billig, die Frage auf, ob das

---

getragen, diese Correction vorzunehmen, und vorgezogen, die Werthe, wie sie hier gegeben sind, in die unten nachfolgende Tabelle zu setzen.

durch HAYCRAFT behauptete, durch MARCET und DELARIVE aus ihren Versuchen gefolgerte Gesetz [1], dafs alle Gase bei gleichem Volumen eine gleiche specifische Wärme haben, mit den Resultaten seiner Versuche vereinbar sey. In diesem Falle müfste die Verdunstungskälte in allen Gasen dieselbe seyn, was zwar mit seiner Erfahrung streitet; allein wenn man berücksichtigt, das das Wasserstoffgas so ausnehmend leicht ist, so glaubt er, dafs die hierbei erhaltene bedeutende Abweichung sich wohl aus der ungleichen Gasmenge (in Beziehung auf die Masse) erklären lasse, welche in einer gegebenen Zeit bei gleicher Geschwindigkeit der Bewegung durch die Röhre strömte, und es könnte dann allerdings das durch DULONG aufgestellte Gesetz (§. 402), wonach alle einfache Gase bei gleichem Volumen eine gleiche Wärmecapacität haben sollten, mit den durch SUERMAN erhaltenen Resultaten vereinbar seyn. Für alle Gase kann dieses Gesetz nach seiner Ansicht nicht statt finden; denn obgleich der Unterschied beim Kohlenoxydgas nur klein ist, so steigt er doch bei den beiden andern zusammengesetzten Gasen, dem Stickstoffoxydul und der Kohlensäure so sehr, dafs seine Versuche die Zulässigkeit des aufgestellten Gesetzes nicht gestatten.

410) Wie oben (§. 397) mitgetheilt worden ist, suchten MARCET und DELARIVE auch die Frage zu beantworten, in welchem Verhältnisse die specifische Wärme der Gase zu ihrem gröfseren oder geringeren Drucke stehe, wobei sie zwar allerdings einen statt findenden Unterschied wahrnahmen, ein allgemeines Gesetz hierüber jedoch nicht aufzufinden vermochten. SUERMAN machte die Beantwortung dieser Frage zunächst in Beziehung auf Luft unter geringerem Drucke als dem mittleren atmosphärischen gleichfalls zum Gegenstande einer eigends unternommenen Versuchsreihe. Zu diesem Ende liefs er die Luft durch vier auf gewöhnliche Weise verbundene Woulff'sche Flaschen strömen, die zum Austrocknen der Luft mit Schwefelsäure und Glasstücken gefüllt waren, um Stöfse der Luft zu vermeiden und zugleich mehr Oberfläche darzubieten. Das Eintrittsrohr an der ersten Flasche war mit einem

---

1 Der Erste, welcher dieses Gesetz aufstellte, war GAY-LUSSAC (§. 392); er nahm es aber nachher selber wieder zurück, s. Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 629. G. XLVIII. 392. Vergl. unten §. 412.

Hahn versehn, der sich mehr oder weniger öffnen liefs, um die Menge der einströmenden Luft zu reguliren, worin dann zugleich das Mittel lag, den Druck derselben willkürlich zu verringern. Aus der letzten Flasche trat die wohlgetrocknete Luft in die oben angegebene gekrümmte Röhre, in deren einem Schenkel sich das Thermometer befand, welches die Temperatur der trocknen Luft mafs, im andern aber das abzuschraubende mit benetzter Kugel, um die Verdunstungskälte zu messen. Aus diesem zugleich mit einem manometrischen Apparate versehenen Theile der ganzen Vorrichtung strömte die Luft noch durch zwei Woulff'sche Flaschen, deren eine Quecksilber enthielt, um die Strömung gleichmäfsiger zu machen, und gelangte endlich zu einer Campane auf dem Teller einer Luftpumpe; letztere exantlirte stets gleichmäfsig, und die Bewegung der Kolben wurde daher nach einem Metronom regulirt, wodurch sich mit Hülfe des mehr oder weniger geöffneten Hahns beim Eintritt der Luft ein stets gleichmäfsiger Strom von stufenweise geringerer, aber für die Dauer jedes einzelnen Versuches gleichbleibender Dichtigkeit der Luft erreichen liefs. Die Strömungsgeschwindigkeit war bei dieser Vorrichtung weit gröfser als bei den früheren Versuchen, nämlich 20 Liter in einer Minute, weswegen man eine höhere Genauigkeit erwarten darf. Mit diesem Apparate wurde 18 Versuche angestellt, in denen der Luftdruck von 0,6911 bis 0,31963 Meter abnahm. Aus den gefundenen Gröfsen wurde die specifische Wärme mittelst der oben angegebenen Formel berechnet, und zeigte sich mit abnehmendem Drucke zunehmend. Dieses Resultat steht mit dem (§. 397) durch Marcet und Delarive erhaltenen keineswegs in Widerspruch, beide dienen vielmehr einander zur Bestätigung. Allerdings war in jenen Versuchen die Temperatur, welche die dünnere Luft binnen 5 Minuten annahm, gröfser als diejenige, welche die dichtere in gleicher Zeit erhalten hatte, und dieses würde, für sich genommen, eine geringere specifische Wärme der verdünnten Luft anzeigen; wenn man aber berücksichtigt, dafs die Volumina gleich waren, mithin bei einem Drucke von 0,258 Meter sich nicht die Hälfte der Masse Luft in der Kugel befand, als bei 0,650 Meter Druck, dennoch aber bei jenem das Thermometer während der gleichen Zeitdauer von 5 Minuten nur 7°,3 und bei diesem 6°,3 stieg, mithin die Temperaturzunahme nur 1° C. betrug,

obgleich die vorhandene Luftmasse noch nicht die Hälfte ausmachte, so folgt hieraus wohl unwidersprechlich, dafs die auf die Masse sich beziehende specifische Wärmecapacität der verdünnten Luft gröfser ist. Nach den Versuchen SUERMAN's ist aber die Zunahme der Wärmecapacität mit vermindertem Drucke nur gering, und nahm nur etwa um 0,1 zu, während der Druck von 0,69 bis 0,32 Meter, also um mehr als die Hälfte abnahm. Wegen der grofsen Schnelligkeit des Strömens, welche die frühere um sechsmal übertraf, kann der aus der Strahlung der Röhre entspringende Fehler nur ein geringer seyn. Beim letzten Versuche mit Luft vom geringsten Drucke strömte indefs nur etwa die Hälfte Luft in gleicher Zeit durch den Cylinder, als beim ersten mit Luft vom stärksten Drucke, mithin mufste bei jenem die gefundene specifische Wärme vergröfsert werden, wenn aus der Strahlung ein Fehler erwachsen wäre; diesem steht aber ein anderes, gleich gewichtiges, Argument entgegen. In der verdünnten Luft ist die Verdunstung stärker, und erreicht im Vacuum ihr Maximum. Hieraus mufste der entgegengesetzte Fehler erwachsen, also die Wärmecapacität der verdünnten Luft geringer erscheinen. Ob beide einander entgegengesetzte Fehlerquellen einander genau compensiren oder ein Ueberschufs der einen über die andere bleibt, wagt SUERMAN nicht zu entscheiden.

411) SUERMAN vergleicht die von ihm erhaltenen Resultate mit den theoretischen Bestimmungen POISSON's[1]. Nach diesem ist

$$\gamma = c \left(\frac{P}{p}\right)^{1 - \frac{1}{k}},$$

wenn $\gamma$ die specifische Wärme für einen constanten Druck $= p$ und c die für einen solchen $= P$; k aber das Verhältnifs der specifischen Wärme bei constantem Druck zu der bei constan-

1 Traité de Mécanique. 2me éd. T. II. p. 649. Vergl. Ann. de Chim. et Phys. T. XXIII. p. 337. G. LXXVI. 269. Es scheint mir nicht angemessen, die theoretischen Bestimmungen dieses bedeutenden Geometers hier ausführlicher mitzutheilen, denn es dürfte sich nicht leicht ein Gelehrter bewogen fühlen, mittelst derselben die specifischen Wärmen gasförmiger Körper zu ermitteln, und die geringe Uebereinstimmung dieser Theorie mit SUERMAN's Versuchen zeigt ohnehin, dafs man ihnen kein unbedingtes Vertrauen schenken kann.

tem Volumen bezeichnet. Wird demnach P = 0,76 Meter; c nach Delaroche und Bérard = 0,2669; k aber aus der beobachteten Schallgeschwindigkeit = 1,415 angenommen, so erhält man

$$\gamma = 0{,}2669 \sqrt[3{,}41]{\frac{0{,}76}{p}}.$$

Zehn hiernach berechnete Werthe geben

| | | | |
|---|---|---|---|
| p = 0,76 ... | $\gamma$ = 0,2669 | p = 0,50 ... | $\gamma$ = 0,3018 |
| 0,70 | 0,2734 | 45 | 0,3111 |
| 0,65 | 0,2794 | 40 | 0,3222 |
| 0,60 | 0,2860 | 35 | 0,3350 |
| 0,55 | 0,2935 | 30 | 0,3505 |

welche Gröfsen jedoch, mit den Resultaten der Versuche verglichen, bedeutend von diesen abweichen, und zwar mit den Verdünnungen zunehmend. Ungleich genauere, und wahrhaft überraschend übereinstimmende Werthe giebt aber eine andere, durch Clapeyron[1] aufgestellte Formel, wonach

$$\gamma = A - B \,\mathrm{Log.}\, p$$

ist, wenn $\gamma$ die specifische Wärmecapacität unter constantem Druck = p, A und B aber Constanten bezeichnen, die aus Versuchen zu bestimmen sind. Werden diese aus allen 18 Versuchen nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, so ist

$$A = 0{,}5139;\ B = 0{,}07998;\ \text{und}\ \gamma = 0{,}2835\ \text{für}\ p = 0{,}76.$$

Suerman stellt die 18 von ihm gefundenen, mit abnehmendem Drucke wachsenden, specifischen Wärmecapacitäten der atmosphärischen Luft mit den nach dieser Formel berechneten zusammen, und die nebenstehenden Differenzen zeigen augenfällig die aufserordentliche Uebereinstimmung[2].

---

1 Journ. de l'école polytechnique. 1834. T. XIV. p. 170.

2 Es ist dieses um so leichter möglich, weil in der einfachen Formel die so wesentlichen Coefficienten aus den Beobachtungen selbst entnommen sind.

| Vers. Nr. | p. Meter | γ nach Versuchen | γ nach Rechnung | Unterschied |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,69110 | 0,2866 | 0,2868 | + 0,0002 |
| 2 | 0,69049 | 0,2869 | 0,2868 | − 0,0001 |
| 3 | 0,68320 | 0,2891 | 0,2872 | − 0,0019 |
| 4 | 0,63921 | 0,2900 | 0,2895 | − 0,0005 |
| 5 | 0,62024 | 0,2915 | 0,2905 | − 0,0010 |
| 6 | 0,56834 | 0,2927 | 0,2936 | + 0,0009 |
| 7 | 0,56075 | 0,2927 | 0,2941 | + 0,0024 |
| 8 | 0,55660 | 0,2925 | 0,2943 | + 0,0018 |
| 9 | 0,51455 | 0,3018 | 0,2970 | − 0,0048 |
| 10 | 0,50886 | 0,2964 | 0,2974 | + 0,0010 |
| 11 | 0,46707 | 0,3004 | 0,3004 | 0,0000 |
| 12 | 0,43418 | 0,3017 | 0,3029 | + 0,0012 |
| 13 | 0,42468 | 0,3011 | 0,3037 | + 0,0026 |
| 14 | 0,38102 | 0,3081 | 0,3075 | − 0,0006 |
| 15 | 0,37596 | 0,3075 | 0,3079 | + 0,0004 |
| 16 | 0,33987 | 0,3103 | 0,3114 | + 0,0011 |
| 17 | 0,32090 | 0,3151 | 0,3134 | − 0,0017 |
| 18 | 0,31963 | 0,3149 | 0,3136 | − 0,0013 |

Die Unterschiede sind so gering, und heben sich gegenseitig so vollständig auf, daſs mindestens die Genauigkeit der Versuche evident daraus hervorgeht. Der wahrscheinliche Fehler der Beobachtungen beträgt nicht mehr als 0,0013, der des Coefficienten A 0,0070 und des Coefficienten B 0,0026.

Suerman beabsichtigte auch die Wärmecapacitäten der Luft unter höherem Drucke als dem von ihm angewandten oder dem mittleren atmosphärischen zu ermitteln, und es ist zu bedauern, daſs er hieran durch anderweitige Beschäftigungen gehindert wurde, denn sonst würde sich gezeigt haben, ob auch auf diese die angegebene Formel anwendbar sey. Der gebrauchte Apparat lieſse sicht für diesen Zweck leicht abändern, wenn man statt der exantlirenden Pumpe eine comprimirende wählte, und die comprimirte Luft an der entgegengesetzten Seite durch die Oeffnung eines regulirten Hahnes ausströmen lieſse.

412) Ueberblicken wir die ganze Reihe der hier mitgetheilten Untersuchungen, so erscheint die Methode der Mischungen unter allen als die einfachste, und sie giebt daher auch die richtigsten Resultate. Solche würden ohne Zweifel auch aus den Versuchen von Delarive und Marcet (§. 393 ff.)

hervorgegangen seyn, wenn nicht die von ihnen angewandten Quantitäten der untersuchten Gase zu gering gewesen wären, deren Masse gegen die der übrigen Theile der gebrauchten Apparate immer noch geringfügig blieb [1]. Hiermit stimmt auch überein, daſs die nach der angegebenen Methode angestellten Versuche von Delaroche und Bérard (§. 386) bis jetzt noch immer die gröſste Autorität haben. Allerdings läſst sich nicht leugnen, daſs die Versuche von Dulong und die von Suerman sehr scharfsinnig erdacht, mit unglaublicher Sorgfalt und dem höchsten Grade von experimenteller Geschicklichkeit durchgeführt sind, weswegen auch namentlich die durch den Letzteren gefundenen relativen Capacitäten bei ungleichem Drucke unter sich so merkwürdig übereinstimmen, und einen höchst wichtigen, wenn gleich nur partiellen, Beitrag zum Ganzen unserer Kenntniſs der Wärmecapacitäten zunächst der Luft, und daher auch wahrscheinlich aller gasförmigen Körper bilden. Bei Dulong's und Suerman's Methoden sind die Apparate ebenso zusammengesetzt und einer gleichen Menge Bedingungen unterworfen, die Fehler herbeiführen können, als die von Delaroche und Bérard gebrauchten; auſserdem aber beruhen sie auf Grundlagen, die keineswegs für absolut gewiſs gelten können. Berücksichtigen wir zuerst die Methode Suerman's, so setzt diese die Elasticität, die Dichtigkeit und die latente Wärme des Wasserdampfes als absolut richtig voraus, und wenn gleich die Resultate der Versuche, wodurch diese Gröſsen gefunden wurden, sehr nahe mit einander übereinstimmen, und dieses sehr für ihre Genauigkeit entscheidet, so bleibt doch immer fraglich, ob spätere, noch genauere Versuche nicht andere gleichfalls noch genauere Resultate liefern, gerade wie dieses bei dem durch Rudberg gefundenen Coefficienten für die Ausdehnung der Gase der Fall gewesen, obgleich seit 20 Jahren niemand den früher angenommenen nur zu bezweifeln wagte. Die Bestimmung der latenten Wärme des Wasserdampfes macht keineswegs auf eine gleiche Zuverlässigkeit Ansprüche, und wird in der That von verschiedenen Schriftstellern nicht gleich übereinstimmend angenommen. Aus der ungewöhnlichen Uebereinstimmung der Resultate der letzten Versuchsreihe unter

---

1 Dieses bezieht sich jedoch nicht auf deren neueste Versuche in §. 399.

sich folgt daher nichts weiter als eine ausnehmende Genauigkeit bei der Anstellung der Versuche, keineswegs aber eine absolute Richtigkeit derselben an sich; denn es wäre aus den angegebenen Gründen leicht möglich, dafs alle mit den nämlichen Fehlern behaftet wären. Dulong's Versuche beruhn auf einem Satze, welchen zwar der scharfsinnigste und tiefste Gelehrte der neuesten Zeit ausgesprochen hat, der aber deswegen noch keineswegs über jeden Zweifel erhaben ist, wobei es immer auffallend bleibt, dafs er durch die directen Versuche von Clément und Désormes, von Gay-Lussac und Welter, so wie von Prechtl nicht bestätigt wurde, deren Bestimmungen sämmtlich kleiner sind, als diejenige, welche Dulong aus der Schallgeschwindigkeit entnahm. Offenbar aber darf man aus der empirisch gefundenen Schallgeschwindigkeit keinen Beweis für die Richtigkeit dieses Coefficienten hernehmen, weil vielmehr die Zulässigkeit der ganzen Hypothese darauf beruht, ob durch diesen anderweitig scharf bestimmten Coefficienten die theoretische Schallgeschwindigkeit mit der durch die Erfahrung gefundenen genau übereinstimmt. Ueberhaupt aber bin ich der unmafsgeblichen Ansicht, dafs wir bei der Bestimmung der specifischen Wärme der Gase, nach dem oben (§. 404) hierüber festgesetzten Begriffe, ebenso wie bei allen andern Körpern, diejenige Wärme, welche durch Compression erzeugt wird, ganz unberücksichtigt lassen müssen, obgleich sich keinen Augenblick verkennen läfst, dafs beide innig mit einander verbunden sind. Dieser Meinung ist auch der ebenso gelehrte als scharfsinnige Biot[1], dessen Aeufserung hierüber wörtlich aufzunehmen ich kein Bedenken trage. „Die erhaltenen Be-„stimmungen der specifischen Wärme sind der Ausdruck eines „sehr zusammengesetzten Phänomens. Nach der Art, wie die „Versuche angestellt werden, ziehen sich die Gase zu gleicher „Zeit zusammen, wenn sie sich abkühlen[2], weil sie stets unter „demselben Drucke standen. Die Erwärmung, die sie erzeu-„gen, ist daher die zusammengesetzte Wirkung der Wärme, „die sie abgeben, indem sie sich abkühlen, und zugleich in-„dem sie sich zusammenziehn, statt dafs man diese beiden

1 Traité de Physique. T. IV. p. 727.

2 Dieses leidet auf die Versuche von Dulong keine Anwendung, doch stehn diesen andere Argumente entgegen.

„Effecte abgesondert betrachten, d. h. diejenige Wärmemenge „bestimmen müſste, welche jedes Gas abgiebt, indem es sich „in einem unveränderlichen Raume, also bei gleichbleibendem „Volumen, abkühlt, und demnächst diejenige, welche es ab- „giebt, wenn sein Volumen sich ändert bei gleichbleibender „äuſserer Temperatur. Die Trennung dieser beiden Phänomene „erscheint als ausnehmend schwierig, würde aber unvermeidlich „seyn, wollte man ganz einfache Resultate haben, und die ei- „gentlichen Gesetze, welche diese Effecte bedingen, in ein hel- „les Licht setzen. Allein man ist eben diesen Unbequemlich- „keiten unterworfen bei den Versuchen, welche man anstellt, „um die specifischen Wärmecapacitäten der tropfbar flüssigen „und der festen Körper zu bestimmen, weil auch diese sich „nothwendig in dem Maſse zusammenziehn, als sie sich ab- „kühlen; weil aber ihre Zusammenziehung nur gering ist, so „wird vorausgesetzt, daſs auch die hierdurch erzeugte Wärme „nur unbedeutend sey in Vergleichung mit der, welche sie „durch Abkühlung abgeben. Aber, die Wahrheit zu gestehen, „nichts beweiset, daſs es wirklich so sey, ja man könnte ver- „anlaſst werden, das Gegentheil zu glauben, wenn man die „auſserordentliche Menge von Wärme berücksichtigt, welche „die festen Körper entwickeln, wenn man ihre Theile von „einander trennt, wie dieses durch Reiben, durch Drehen, „durch Bohren geschieht, welches letztere nichts anderes ist, „als ein rohes Reiben mit Abreiſsen der oberen Theilchen von „den unteren. Betrachtet man aus diesem Gesichtspuncte die „Bohrspähne, welche von dem bronzenen Kanonenstücke ab- „gerissen waren, so fand Rumford, daſs sie die nämliche „specifische Wärme hatten als die Masse, von welcher sie „gerissen waren, woraus sich schlieſsen läſst, daſs die enorme „entwickelte Wärme einzig zwischen den soliden Molecülen „des Bronzekörpers, also zwischen den kleinen Gruppen dieser „Partikeln existirte, welche der Bohrer abgerissen hatte. Ist „diesem wirklich so, dann muſs diese Wärmemenge auf glei- „che Weise jedesmal sich verändern, sobald ein Körper sich „ausdehnt oder zusammenzieht, und diese Wirkung, welche „mit der durch bloſse Veränderung der Temperatur frei ge- „wordenen Wärme verbunden ist, kann sehr wohl nicht so ge- „ring seyn als man sich gewöhnlich einbildet. So lange „diese beiden Wirkungen nicht durch Versuche von einander

„getrennt sind, können die erhaltenen Resultate keine andere „seyn als zusammengesetzte, und vielleicht liegt in dieser Zu- „sammensetzung der Grund, welcher bis jetzt gehindert hat, „irgend ein Verhältnifs der specifischen Wärme der Körper „und ihrer chemischen Beschaffenheit mit Sicherheit aufzu- „finden.“

Wie es sich auch mit den verschiedenen, in der mitgetheilten Aeufserung in Anregung gebrachten ebenso wichtigen als schwierigen Problemen verhalten mag, so geht mindestens so viel evident daraus hervor, dafs eine Volumensvermehrung durch Wärme bei allen Körpern vorkommt, und bei allen auf die Bestimmung ihrer specifischen Wärme einen Einflufs ausübt. Soll daher der Begriff, welchen wir mit specifischer Wärmecapacität verbinden, für alle Körper derselbe seyn, sollen die gefundenen Gröfsen unter sich vergleichbar seyn, so dürfen wir nicht bei einer Classe derselben, den gasförmigen, den Einflufs der Ausdehnung ausschliefsen, bei andern dagegen beibehalten, ja es mufs mo möglich die Methode die Wärmecapacitäten zu bestimmen mit gehörigen Modificationen bei allen Arten von Körpern dieselbe seyn. Sofern es aber wohl ausgemacht ist, dafs die Methode der Mischungen bei festen und tropfbar flüssigen Körpern vor allen andern den Vorzug hat, so müssen wir diese wo möglich auch bei den gasförmigen in Anwendung bringen. Allerdings macht bei diesen die geringe Masse derselben ein grofses Hindernifs, allein durch das von Delaroche und Bérard gewählte Verfahren wird auch dieses glücklich beseitigt, weswegen denn ihre Versuche, denen wir die späteren von Marcet und Delarive unbedenklich an die Seite setzen können, noch immer unter die schätzbarsten gehören, die gröfste Autorität besitzen und am meisten in Anwendung gebracht werden. Leider haben die Experimentatoren einen Fehler nicht vermieden, dessen Einflufs zwar unbedeutend seyn mag, immerhin aber der absoluteren Genauigkeit der erhaltenen Resultate einigen Abbruch thut, nämlich dafs sie die Gase nicht vorher austrockneten, um den möglichen und unter gewissen Bedingungen leicht beträchtlichen Einflufs der Wasserdämpfe zu vermeiden. Ist es gegründet, dafs die Wasserdämpfe sich durch Wärme genau so als die Gase ausdehnen, und dürfen wir hieraus folgern, dafs ihre specifische Wärme so lange als sie nicht niedergeschlagen

werden, was allerdings bedeutende Fehler herbeiführen müſste, mit der der Gase sehr nahe übereinstimmt oder mindestens nur unbedeutend davon abweicht, so konnten aus der immer nur geringen Feuchtigkeit der gebrauchten Gase nicht wohl merkliche Fehler erwachsen; immerhin aber wäre wünschenswerth, daſs diese Fehlerquelle vermieden seyn möchte. Hätten die beiden wackeren Gelehrten auf eine solche Weise, wie z. B. Suerman, mit groſsen Gasometern operirt, und die Gase vorher durch Chlorcalcium hinlänglich ausgetrocknet, so würde den von ihnen gefundenen Resultaten ein noch weit höherer Werth gebühren. Es ist daher sehr erfreulich, daſs Marcet und Delarive den nämlichen Weg betreten und dabei zugleich den genannten Fehler vermieden haben.

413) Die specifische Wärme aller Körper gehört allezeit einer gewissen Temperatur an, sofern man sie entweder für t oder für $\frac{t+t'}{2}$ bestimmt, wie bereits gelegentlich erwähnt worden ist (§. 404); mithin muſs bei allen, und daher auch bei den Gasen, die Frage beantwortet werden, ob die specifische Wärme derselben für alle Temperaturen dieselbe ist, oder ob sie mit den Veränderungen derselben sich gleichfalls verändert, allgemein in welchem Verhältniſs die specifische Wärme der Körper zu ihrer Temperatur steht. Aus den mitgetheilten Versuchen läſst sich diese Frage in Beziehung auf die Gase nicht beantworten; denn sie sind zwar bei verschiedenen Temperaturen angestellt, aber nicht bei so weit von einander abstehenden, daſs dieser Einfluſs, welcher höchst wahrscheinlich nur ein geringer ist, sich daraus entnehmen lieſse, auſserdem aber wurden bei ihnen verschiedene Methoden angewandt, weswegen die Abweichungen von einander in diesen und der ungleichen Genauigkeit, die sie gewähren, liegen können. Inzwischen hat sich Gay-Lussac[1] die directe Beantwortung dieser Frage zum Ziele gesteckt. Nach der von ihm angewandten, bereits (§. 392) angegebenen Methode vereinigte er bei 16° C. äuſserer Temperatur gleiche Volumina atmosphärischer Luft, das eine von — 20°, das andere von + 52°, und fand, daſs sich die Capacität der kalten Luft zu der der warmen wie 1:1,206 verhielt. Als er diese Versuche mit Wasserstoffgas

1 Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 629. G. XLVIII. 392.

und atmosphärischer Luft wiederholte, fand er, dafs die Capacität der bis — 20° erkalteten atmosphärischen Luft sich zu der des bis 52° erwärmten Wasserstoffgases wie 1:0,907 verhielt; war aber das Wasserstoffgas bis — 20° erkältet, die Luft aber bis 52° erwärmt, so war das Verhältnifs = 1:0,752. In einem gleichen Versuche mit Kohlensäure gab die bis — 20° erkältete Luft und bis 52° erwärmte Kohlensäure das Verhältnifs = 1:1,518, war aber die Luft bis 52° erwärmt, die Kohlensäure bis — 20° erkältet, so wurde dieses Verhältnifs = 1:119. Hieraus folgt, dafs die specifische Wärmecapacität der Gase mit zunehmender Temperatur wächst, ohne dafs jedoch diese Versuche genügen, ein bestimmtes Gesetz hierüber aufzustellen.

414) Es ist wiederholt von einem allgemeinen Gesetze die Rede gewesen, welches sich über die specifischen Wärmen aller gasförmigen Körper aufstellen lasse, und wir müssen zum Beschlufs diese Aufgabe hier nochmals speciell zur Erörterung bringen. In Beziehung auf die Gase war Gay-Lussac der erste, welcher den Satz aufstellte, dafs die Wärmecapacitäten aller elastischen Flüssigkeiten bei gleichem Volumen und unter gleichem Drucke sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte verhielten, was er aus den Resultaten seiner frühesten Versuche ableitete und bei der Wiederholung derselben bestätigt fand, obwohl seine Aeufserung hierüber nur dahin ging, dafs er dieses für wahrscheinlich halte (§. 392). Da sich annehmen läfst, dafs ihre Volumina ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportional sind, so heifst der Satz zugleich soviel, dafs die Wärmecapacität aller Gase unter gleichem Drucke gleich sey[1]. Inzwischen nahm er selbst[2] dieses Gesetz ausdrücklich und ganz ohne Beschränkung wieder zurück, indem er erklärte, dasselbe sey völlig unrichtig; die Gasarten hätten keineswegs einerlei Capacität für die Wärme, sondern jede habe ihre ei-

1 In dieser Form hat Dalton (neues System u. s. w. Th. I. S. 80.) diesen Satz zuerst ausgesprochen, zugleich aber auch die Einwendungen vorgebracht, die sich dagegen aufstellen lassen. Wegen seines Zusammenhanges mit einem andern wichtigen Gesetze verspare ich diese Untersuchung bis weiter unten §. 445 u. 446.

2 Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 629. G. XLVIII. 392.

gene, von der der andern sehr verschiedene Wärmecapacität. Dennoch haben die meisten späteren Experimentatoren bei ihren Versuchen zur Auffindung der Wärmecapacitäten gasförmiger Flüssigkeiten diese Frage abermals berücksichtigt, und das Resultat, wozu sie gelangten, mit angegeben. HAYCRAFT folgerte aus seinen Versuchen, dafs allgemein die specifische Wärme der Gase sich umgekehrt wie ihre Dichtigkeiten verhielten, weil gleiche Volumina derselben unter gleichem Drucke seinem Calorimeter gleiche Wärmemengen mitgetheilt hatten (§. 391). Zu einem gleichen Resultate gelangten auch MARCET und DELARIVE, nämlich dafs alle Gase für gleiche Volumina und gleiche Elasticitäten die nämliche specifische Wärme haben sollen (§. 397), ein Satz, welcher um so auffallender ist, da sich ihre Versuche auf eine so bedeutende Menge gasförmiger Körper erstreckten, nämlich atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Stickgas, Wasserstoffgas, Kohlensäure, ölbildendes Gas, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, salpetriges Gas, Schwefelwasserstoffgas, Ammoniakgas, schwefligsaures Gas, Chlorwasserstoffsäure und Cyan (§. 396). Auch durch ihre neuesten Versuche fanden diese Gelehrten das aufgestellte Gesetz bestätigt, dafs die Gase unter dem nämlichen Drucke und bei gleichem Volumen gleiche specifische Wärme haben sollen, indem unter den zusammengesetzten Gasen blofs zwei von dieser Regel abweichen, nämlich das ölerzeugende Gas und die Kohlensäure; doch gestehn sie zu, dafs es zwar allerdings eine sichere Anwendung auf die einfachen Gase, keineswegs aber auf die zusammengesetzten leide (§. 399). Nach DULONG verdienen die Versuche von DELAROCHE und BÉRARD, ihrer Mängel ungeachtet, noch immer das meiste Vertrauen, und setzen daher aufser Zweifel, dafs alle einfache und zusammengesetzte Gase unter gleichem Drucke und bei gleichem Volumen keineswegs gleiche Wärmecapacitäten besitzen (§. 400). Inzwischen fand DULONG durch seine eigenen Versuche das Gesetz für die einfachen Gase, das Sauerstoffgas und Wasserstoffgas bestätigt, und ebenso für die zusammengesetzten, die atmosphärische Luft und das Kohlenoxydgas (§. 401), und da das Stickstoffgas nach DELAROCHE und BÉRARD sich genau wie atmosphärische Luft verhält, so könnte man allerdings folgern, dafs das Gesetz auf die einfachen und einige zusammengesetzte Gase Anwendung leide. APJOHN verwirft das Gesetz in dieser Beschränkung,

welches er als von Dulong aufgestellt betrachtet, dafs nämlich alle einfache Gase unter constantem Drucke und constantem Volumen gleiche Wärmecapacitäten haben sollen, weil es für Wasserstoffgas nicht passe, um so viel mehr also eine allgemeine Anwendung desselben auf alle, auch die zusammengesetzten gasförmigen Körper überall nicht statthaft sey (§. 406). Endlich hat Suermann diese Frage speciell erörtert, und schliefst aus den von ihm erhaltenen Resultaten, dafs das Gesetz in der Ausdehnung, wie es von Marcet und Delarive aufgestellt ist, wonach gleiche Volumina aller Gase unter gleichem Drucke dieselbe specifische Wärme haben sollen, unstatthaft sey, denn das Kohlenoxydgas zeige zwar nur eine geringe Abweichung, andere aber eine desto gröfsere, aus Beobachtungsfehlern durchaus nicht abzuleitende; dagegen glaubt er, dafs dasselbe in der von Dulong angegebenen Beschränkung, wonach blofs die einfachen Gase und einige zusammengesetzte diese gleiche Wärmecapacität haben sollen, wohl statt finden könne, weil die allerdings bedeutende Abweichung, die bei ihm das Wasserstoffgas zeigte, wohl aus Beobachtungsfehlern abzuleiten sey. Das ganze Problem gewinnt ausnehmend an Interesse und Wichtigkeit, wenn man es aus einem anderen wissenschaftlichen Gesichtspuncte betrachtet. Wir werden später sehen, dafs nach den Untersuchungen von Dulong und Petit über die specifischen Wärmecapacitäten der festen Körper ein gewisses *Verhältnifs zwischen den Atomgewichten und den Wärmecapacitäten* der Körper statt finden soll. Dieses Gesetz stimmt sehr überein mit der Theorie, dafs die Molecüle der Körper mit Wärmesphären umgeben sind, und bei ihren verschiedenen Aggregatzuständen sich im stabilen Gleichgewichte der einander entgegenwirkenden anziehenden und repulsiven Kräfte befinden, die Wärme als repulsive Kraft selbst oder als ihren Träger betrachtet. In den Gasarten, namentlich den einfachen, müfste der Conflict dieser Kräfte, also auch das quantitative Verhältnifs des in ihnen vorhandenen Wärmestoffes, am einfachsten wahrnehmbar seyn, und aufserdem zeigt sich, dafs die Dichtigkeiten derselben unter gleichem Drucke zu ihren Atomgewichten in einem gewissen Verhältnisse stehn müssen; denn die leichtesten unter ihnen haben zugleich die kleinsten Atomgewichte. Es wird jedoch am angemessensten seyn, diese Untersuchung nicht isolirt für die Gase anzustellen,

sondern mit der über die sonstigen Körper zu verbinden, worauf ich daher verweise (§. 445 ff.).

### b) Specifische Wärme der tropfbaren Flüssigkeiten.

415) Wegen der weit gröfseren Massen, welche bei tropfbaren Flüssigkeiten in einem kleineren Raume vereinigt sind, ist es viel leichter, die specifischen Wärmecapacitäten derselben aufzufinden. Die Aufgabe kam daher schon vor sehr langer Zeit zur Untersuchung, und die Auffindung der ungleichen Wärmecapacitäten der Körper trug hauptsächlich dazu bei, richtigeren Begriffen über das eigentliche Wesen der Wärme Eingang zu verschaffen. Man bediente sich hierbei allgemein der Methode der Mischungen, und es ist bereits oben (§. 376 und 377) erwähnt worden, auf welche Weise diese durch Black und Irvine, durch Wilke und insbesondere durch Crawford in Anwendung gebracht wurde. Hier wird also nur noch erforderlich seyn, die von ihnen gefundenen Bestimmungen zusammenzustellen und mit einander zu vergleichen, was aber der Kürze wegen in der unten angehängten Tabelle geschehn kann. Bemerkt werden mufs jedoch, dafs die Versuche, namentlich von Crawford, sich keineswegs auf tropfbare Flüssigkeiten beschränkten, sondern dafs er hauptsächlich auch feste Körper, ja sogar auch Gase mit in den Kreis derselben zog (§. 383). Während Crawford seine vielen Arbeiten hierüber fortsetzte, beschäftigte sich auch Kirwan mit dieser Aufgabe, und theilte die gefundenen Bestimmungen seinem Freunde Magellan mit, durch den sie bekannt wurden[1]. Die Summe der bekannten Bestimmungen, die hauptsächlich zur Unterstützung der damals neuen Theorie der Wärme dienen sollten, wurde nicht unbedeutend vermehrt durch Gadolin[2], dessen Bemühungen mit denen von Lavoisier und Laplace der Zeit nach zusammenfallen. Letztere bedienten sich dabei ihres Calorimeters[3] (§. 377), welches unter den Händen dieser

1 Essay sur la nouvelle théorie du feu élémentaire et de la chaleur des corps. Lond. 1780. 4.

2 Dissertatio chemico-physica de theoria caloris corporum specifici. Aboe. 1784. 4.

3 Mém. de l'acad. de Paris. 1780. p. 355. Lavoisier's physisch

durch anhaltende Uebung sehr geschickten Experimentatoren vorzüglich genaue Resultate gab, bald nachher aber durch Rumford gegen das Wassercalorimeter vertauscht wurde. Mit diesem Apparate bestimmten sie nicht bloſs die specifische Wärme der Salpetersäure = 0,66139, wie oben angegeben worden, sondern auch des Olivenöls = 0,30961 und der Schwefelsäure = 0,33460. Schon vorher hatte Joh. Tob. Mayer die Methode der Abkühlung empfohlen, die er selbst zur Auffindung der Wärmecapacitäten des Leinöls und des Essigs, verglichen mit der des Wassers, so wie auch der einiger Holzarten benutzte, die aber durch Leslie und Dalton in gröſserer Ausdehnung angewandt wurde[1]. Es würde indeſs einen zu groſsen Zeitaufwand erfordern, alle diese Bemühungen einzeln zu beschreiben, und es wird daher genügen, die erhaltenen Bestimmungen in der am Ende angehängten Tabelle mit aufzuführen. Bloſs die wichtigern unter den späteren Bemühungen mögen hier etwas näher betrachtet werden.

416) Dalton[2] hatte fast ausschlieſslich nur Crawford's Leistungen vor Augen, obgleich ihm auch die Bemühungen Lavoisier's und Laplace's bekannt waren; inzwischen verlieſs er die Methode jenes seines Landsmannes, und wählte die von J. T. Mayer vorgeschlagene, welche unmittelbar vorher auch Leslie angewandt, und damit die specifische Wärme von fünf Flüssigkeiten bestimmt hatte[3]. Dalton nahm ein eiförmiges, dünnes, gläsernes Gefäſs, welches etwa 8 Unzen Wasser faſste, verschloſs dasselbe mit einem Korke, durch welchen die Röhre eines empfindlichen Thermometers so gesteckt war, daſs dessen Kugel ungefähr sich im Mittelpuncte des Gefäſses befand. In die Röhre des Thermometers waren zwei feine Zeichen mit einer Feile geritzt, das eine bei 33°,34, das andere bei 27°,78 C., so daſs also das Intervall genau 10° F. ausmachte; die Temperatur des Zimmers betrug 11°,11 C. Das Gefäſs wurde mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt und etwas über 33°,34 C. erwärmt, dann im Zimmer aufge-

---

chemische Schriften. Ueb. von Weigel. Greifsw. 1785. Th. III. S. 325.

1 Die Nachweisungen hierüber befinden sich oben in §. 382.

2 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissensch. D. Ueb. Berl. 1812. S. 67.

3 Diese befinden sich in der unten angehängten Tabelle.

hängt und die Zeit genau gemessen, während welcher das darin eingesenkte Thermometer vom oberen Feilstriche bis zum unteren herabsank; ein in einiger Entfernung frei hängendes Thermometer zeigte die Temperatur des Zimmers[1]. Auf einen selten vorkommenden Unterschied der Wärme der Umgebung wurde sorgfältig Rücksicht genommen und zugleich der Einfluſs des Gefäſses corrigirt. Im Mittel aus vielen Versuchen, bei denen die Unterschiede der Erkaltungszeiten für dieselben Flüssigkeiten nicht mehr als höchsens 0,5 Minute betrugen, gingen folgende Erkaltungszeiten und die daraus berechneten specifischen Wärmecapacitäten hervor:

| Flüssigkeiten | spec. Gewichte | Erkaltungszeiten | specifische Wärme |
|---|---|---|---|
| Wasser . . . . . . . . . . . | 1,000 | 29,00 Min. | 1,000 |
| Milch . . . . . . . . . . . . | 1,026 | 29,00 — | 0,98 |
| Auflösung von kohlensaurem Kali . | 1,300 | 28,50 — | 0,75 |
| — — — — Ammonium | 1,035 | 28,50 — | 0,95 |
| Ammoniumsolution . . . . . . | 0,948 | 28,50 — | 1,03 |
| gemeiner Weinessig . . . . . | 1,020 | 27,50 — | 0,92 |
| Kochsalzsolution (88 W. 22 S.) . | 1,197 | 27,00 — | 0,78 |
| Zuckersolution (6 W. 4 Z.) . . . | 1,170 | 26,25 — | 0,77 |
| Salpetersäure . . . . . . . . . | 1,200 | 26,25 — | 0,76 |
| Salpetersäure . . . . . . . . . | 1,300 | 25,50 — | 0,68 |
| Salpetersäure . . . . . . . . . | 1,360 | 25,00 — | 0,63 |
| Schwefelsäurehydrat . . . . . | 1,335 | 23,50 — | 0,52 |
| Salzsäure . . . . . . . . . . . | 1,530 | 21,00 — | 0,60 |
| Essigsäure (aus essigs. Kupfer) . . | 1,056 | 21,00 — | 0,66 |
| Schwefelsäure . . . . . . . . | 1,844 | 19,50 — | 0,35 |
| Alkohol . . . . . . . . . . | 0,850 | 19,50 — | 0,76 |
| Alkohol . . . . . . . . . . | 0,817 | 17,50 — | 0,70 |
| Schwefeläther . . . . . . . . | 0,760 | 15,50 — | 0,66 |
| Wallrathöl . . . . . . . . . . | 0,870 | 14,00 — | 0,52 |

Die Bestimmung der specifischen Wärmecapacität des Quecksilbers durch Dalton ist nach seiner eigenen Angabe zu wenig genau, als daſs man mit Sicherheit darauf bauen könnte. Durch Mischung mit Wasser und durch die Zeit der Abkühlung bei Anwendung eines kleineren Gefäſses fand er für glei-

1 Die Art der Versuche ist genau dieselbe, als der oben §. 257 erwähnten.

che Volumina das Verhältniſs 1 : 0,55. Wird diese Bestimmung für das specifische Gewicht = 14 in runder Zahl angenommen reducirt, so gäbe dieses das Verhältniſs 1 : 0,0393, statt daſs Lavoisier und Laplace mittelst des Eiscalorimeters 1 : 0,029 fanden (§. 378).

Aus den oben (§. 260) mitgetheilten zahlreichen Versuchen von Boeckmann über die Erkaltungszeiten verschiedener, in einer Glaskugel eingeschlossener Flüssigkeiten lieſsen sich auf gleiche Weise die specifischen Wärmecapacitäten derselben berechnen, allein hierzu sind die Einzelnheiten, aus denen die erforderlichen Correctionen entnommen werden müſsten, nicht genau genug angegeben, und die Wissenschaft würde daher durch solche nicht hinlänglich sichere Bestimmungen keinen bedeutenden Vortheil erhalten.

417) Unter den zahlreichen Untersuchungen Rumford's über das Verhalten der Wärme finden sich auch einige, die der Bestimmung der Wärmecapacitäten tropfbarer Flüssigkeiten gewidmet sind[1]. Er wandte hierbei die Methode der Mischungen an, indem er sich zur Aufnahme der zu untersuchenden Flüssigkeiten ein kleines Fläschchen aus dünnem Kupferblech verfertigen lieſs, welches die Gestalt eines doppelten Kreuzes hatte, um dem Wasser, in welches dasselbe eingesenkt wurde, eine gröſsere Oberfläche darzubieten. Die Oeffnung desselben verschloſs ein langer Kork, an welchem es angefaſst wurde, ohne von der Hand eine meſsbare Wärmemenge aufzunehmen. Das Wasser, in welches dieses Gefäſs eingetaucht ward, befand sich in einem cylindrischen Becher von dünnem Kupferblech, welcher in einem etwas gröſseren Cylinder stand, und der Zwischenraum zwischen beiden war mit Flaumfedern der Eidergans gefüllt, um den Einfluſs der äuſseren Wärme abzuhalten. Beide Gefäſse, sowohl dasjenige, welches eingetaucht wurde, als auch dasjenige, worin sich das zum Eintauchen bestimmte Wasser befand, waren von dünnem Metalle; ersteres wog ohne den Kork nur 76 Gramm und letzteres, ein 2 Zoll weiter und 4,75 Zoll tiefer Cylinder, 74,65 Gramm, beider Capacitäten, auf Wasser reducirt, wurden mit in Rechnung gebracht. Um dem Fläschchen mit der eingeschlossenen Flüssigkeit eine bestimmte Temperatur zu geben, hielt Rumford dasselbe eine geraume

1 G. XLV. 317.

Zeit in eine grofse Masse Wasser, welches die Temperatur des Zimmers hatte, worin es sich befand, und in welches während dieser Zeit die Sonne nicht scheinen durfte, um seine Temperatur nicht zu erhöhn, tauchte es dann in den mit Wasser gefüllten Cylinder, und mafs die erzeugte Veränderung der Temperatur gerade dann, wenn diese ihr Maximum erreicht hatte und wieder rückwärts ging. Dabei war vorläufig der Gehalt des cylindrischen Gefäfses und seines Thermometers zu 24,3 Gramm und der des eingetauchten Fläschchens für sich genommen zu 8,36 Gramm Wasser bestimmt. Um die Art der Versuche genauer zu übersehn, möge einer derselben, der mit gereinigtem Rübsamenöl, beschrieben werden. Der Cylinder enthielt 180 Gramm Wasser von der Temperatur des Zimmers = 59°,5 F.; in der Flasche waren 82,55 Gramm gereinigtes Oel enthalten, und es nahm die Temperatur des Wassers in einem grofsen Eimer an, welche 44°,5 F. betrug. Etwa 3 bis 4 Minuten nach dem Einsenken zeigte das Thermometer in dem Wasser des Cylinders 56°,75 F., und stieg erst wieder, nachdem es geraume Zeit auf diesem Puncte still gestanden hatte; das Wasser des Cylinders war also um 2°,25 F. erkältet. Das Wasser des Cylinders mit Einschlufs der Hülle und des Thermometers betrug zusammen 204,3 Gramm, und durch das Eintauchen der Flasche war also so viel Wärme absorbirt worden, als hinreicht, $2{,}75 \times 204{,}3 = 561{,}83$ Gramm Wasser um 1° F. zu erwärmen. Dagegen hatte die eingetauchte Flasche 12°,25 F. Wärme gewonnen. Diese Flasche an sich, ohne das Oel, aber mit Einschlufs des an ihr hängen gebliebenen Wassers betrug nach der specifischen Wärmecapacität reducirt so viel als 9,4 Gramm Wasser, folglich waren $12{,}25 \times 9{,}4 = 115{,}14$ Gramm Wasser um 1° F. erwärmt, und man erhält $561{,}83 - 115{,}14 = 446{,}68$ Gramm Wasser um 1° F. erhöhet als das Mafs der specifischen Wärme des in dem Fläschchen befindlichen Rübsamenöls. Sofern also die in der Flasche befindlichen 82,55 Gramm Oels um 12°,25 F. erwärmt waren, würden sie $\frac{82{,}55}{12{,}25} = 36{,}464$ Gramm Wassers um 1° F. erhöhen, und wir erhalten also, die specifische Wärmecapacität des Wassers = 1 gesetzt, für Rübsamenöl

$$\frac{36{,}464}{82{,}55} = 0{,}44172.$$

Durch mehrmals wiederholte Versuche erhielt Rumford die specifischen Wärmen folgender Flüssigkeiten:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wasser . . . . | 1,00000 | Alkohol (spec. Gew. 0,818) . . . . . . | 0,54993 |
| Rübsamenöl . . | 0,45192 | Spiritus (spec. Gew. 0,853) . . . . . . | 0,58078 |
| Olivenöl . . . | 0,43849 | Schwefeläther (spec. Gewicht 0,729) | 0,54329. |
| Naphtha . . . . | 0,41519 | | |
| Terpentinöl . . | 0,33856 | | |

418) Einen kleinen Beitrag zur Kenntnifs der specifischen Wärmecapacitäten hat J. A. Bischof[1] geliefert. Dieser mischte gleiche Gewichte Salzsoole von 1,120 spec. Gewichte und 2° Temperatur mit Wasser von 41°, und fand die Wärme der Mischung = 22,5. Die Soole hatte also 20°,5 Wärme gewonnen, das Wasser dagegen nur 18°,5 verloren, woraus die Wärmecapacität der Soole zu der des Wassers = 0,902439 : 1 folgt. In einem zweiten Versuche betrug die Wärme der Soole 32°, die des Wassers 2°,5 und die der Mischung 16°, wonach also die Soole 16° verlor, das Wasser aber 13°,5 erhielt und also die Wärmecapacität der Soole zum Wasser = 0,84375 : 1 abgeleitet wird. Nach Bischof ergiebt sich hieraus, dafs die specifische Wärmecapacität der Salzsoole geringer sey, als die des Wassers, der Unterschied aber mit der Verdünnung der Soole abnehme. Diese Folgerung ist nicht zu bezweifeln, allein der bedeutende Unterschied beider gefundenen Resultate wird hierdurch nicht erklärt, denn in beiden Versuchen war der Gehalt oder die Löthigkeit der Soole gleich. Inzwischen können die Versuche überhaupt keine Grundlage eines genügenden Resultates abgeben, weil das Gefäfs nicht mit in die Messung aufgenommen worden ist, und hieraus läfst sich schliefsen, dafs überhaupt die für so feine Versuche unerläfsliche Sorgfalt nicht angewandt wurde. Einige wenige eigene Bestimmungen der Wärmecapacitäten des Alkohols und des Schwefeläthers hat Despretz[2] mitgetheilt; sie sind in der angehängten Tabelle aufgenommen worden.

419) Bei seinen Untersuchungen der Salzsäure bestimmte

1 G. XXXV. 350.

2 Traité élément. de Phys. Par. 1825. p. 167.

Ure[1] auch deren specifische Wärmecapacität sowohl im concentrirten als auch im verdünnten Zustande. Zu diesem Ende füllte er einen Kolben von dünnem Glase, welcher 1800 Grains Wasser faſste, zuerst mit dieser Flüssigkeit, dann mit verdünnter Säure, und zuletzt mit concentrirter Säure, erhitzte ihn jedesmal bis zu der nämlichen Temperatur, die durch ein feines eingesenktes Thermometer gemessen wurde, hing ihn in einem groſsen Zimmer von gleich bleibender Wärme auf, und beobachtete die Zeiten des Erkaltens bis zu der nämlichen Temperatur nach einer genauen Uhr. Dieses erfolgte

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| bei Wasser von | 51°,11 | bis | 18°,89 | in | 122 | Minuten |
| bei verdünnter Säure | — | — | — | — | 102 | — |
| bei concentrirter Säure | — | — | — | — | 88 | — |

Werden dann die enthaltenen Massen nach den specifischen Gewichten, die für verdünnte Säure = 1,152 und für concentrirte = 1,192 waren, auf Wasser reducirt[2], und berücksichtigt man ferner, daſs der Glaskolben nach seiner specifischen Wärmecapacität 150 Grains Wasser gleich kam, so gehen hieraus folgende Gröſsen hervor:

$$\text{Wasser} \ldots \quad \frac{122' \times 100}{1800+150} = 62{,}6 \text{ Minuten}$$

$$\text{verdünnte Säure} \quad \frac{102' \times 100}{2020+200} = 46{,}0 \text{ Minuten}$$

$$\text{concentrirte Säure} \quad \frac{88' \times 100}{2154+250} = 36{,}6 \text{ Minuten.}$$

Aus diesen Resultaten folgert Ure, daſs, die specifische Wärmecapacität des Wassers als Einheit angenommen, die der verdünnten Säure = 0,735 und die der concentrirten = 0,586 sey, welche Gröſsen die Erfahrung einfach gebe. Diese Bestimmungen lassen übrigens noch folgende Betrachtung zu. Die verdünnte Säure bestand aus 6 Theilen concentrirter Säure und 4 Theilen Wasser. Nehmen wir nun an, daſs die specifische

1 Annals of Philos. 1817. T. X. p. 273. Vergl. Schweigger's Journ. XXVIII. 355.

2 Nach den angegebenen spec. Gewichten wäre 1800 × 1,152 = 2074 und 1800 × 1,192 = 2146. Warum die Zahlen im Texte hiervon abweichen, vermag ich nicht aufzufinden.

Wärmecapacität der Mischung die mittlere beider Bestandtheile sey, so gäbe dieses

$$\frac{6 \times 0{,}586 + 4 \times 1{,}00}{10} = 0{,}7516,$$

nur wenig gröſser, als die durch den Versuch erhaltene. Uebrigens stimmt dieses Resultat mit der Theorie überein. Weil nämlich durch Mischung der Salzsäure mit Wasser Wärme entbunden wird, so scheint dieses zu der Folgerung zu führen, daſs die specifische Wärmecapacität der vereinten Substanzen kleiner sey, als die Summe der ihren Bestandtheilen zugehörigen.

420) Unter die neuesten Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärmecapacitäten tropfbarer Flüssigkeiten gehören die von Delarive und Marcet[1], wobei sie sich für die von ihnen auch für die Gase als die vorzüglichere gewählte Methode der Abkühlung eines hohlen Cylinders von Platin, 4,775 Gramm wiegend, entschieden. War derselbe gefüllt und die Thermometerkugel in seine Mitte herabgesenkt, so konnte er hermetisch verschlossen werden, um das Entweichen von Dämpfen selbst im Vacuum zu vermeiden. Zuerst wurde der Cylinder mit Wasser gefüllt, um die übrigen Flüssigkeiten hiermit zu vergleichen; er faſste hiervon bei 10° Wärme 4,327 Gramm. Wird dann das Gefäſs auf Wasser reducirt, die specifische Wärmecapacität des Platins = 0,0314 angenommen, so giebt $4{,}775 \times 0{,}0314 = 0{,}15$ die zur Berechnung erforderliche Gröſse. Die specifische Wärme des Wassers ist aber = 1, und diesemnach ergeben sich die numerischen Werthe in der (§. 437) näher erläuterten Formel

$$c = \frac{(MC + p'c')\frac{t}{t'} - MC}{p},$$

worin c die gesuchte specifische Wärme bezeichnet. Ist die specifische Wärme des Wassers = 1 und wird die des Platins = 0,0314 angenommen, so erhält man in Zahlen:

$$c = \frac{4{,}477 \times \frac{t}{t'} - 0{,}15}{p}.$$

1 S. die §. 399 angegebenen Quellen.

Auf diese Weise wurden die specifischen Wärmecapacitäten von 10 Flüssigkeiten gefunden, die in der angehängten Tabelle aufgenommen sind.

421) Das bei den Gasen aufgefundene eigenthümliche Verhalten, wonach ihre specifische Wärmecapacität *mit wachsenden Temperaturen zunimmt* (§. 413), hat man auch unter den tropfbaren Flüssigkeiten, mindestens beim Wasser, untersucht. Unter den früheren Bemühungen um die Beantwortung dieser Frage sind die von de Luc[1] am bekanntesten geworden, die gröfste Aufmerksamkeit aber verdienen die von Flaugergues[2], dessen Versuche mit grofser Sorgfalt angestellt worden sind, jedoch nicht mit einer solchen, welche zur Vermeidung aller mit dieser Aufgabe verbundenen Schwierigkeiten genügte. Beide Gelehrte gelangten zu dem Resultate, dafs die specifische Wärmecapacität des kalten Wassers gröfser sey, als die des heifsen, denn die durch Mischung beider erhaltene Temperatur lag unter dem Mittel, welches der halben Summe beider vereinter Theile zugehörte. Dalton[3] hat diese Frage namentlich in Beziehung auf das Wasser ausführlich erörtert, nur ist er dabei, wie auch leicht in andern Fällen, sehr dreist in seinen theoretischen Schlüssen. Es genügt ihm nicht, dabei stehn zu bleiben, was Crawford und andere Gelehrte vor ihm ausgesprochen hatten, dafs die Capacitäten der Körper sich bei verschiedenen Temperaturen beinahe gleich blieben, vielmehr war er geneigt, einer anderen Aeufserung jenes Gelehrten beizutreten, wonach aus dessen Versuchen mit verdünnter Schwefelsäure und mit andern Flüssigkeiten folgen sollte, dafs die Capacitäten der Körper mit der Zunahme der Temperatur wachsen. Crawford hatte in Folge seiner Versuche, die *Richtigkeit der Thermometer* durch Mischung gleicher Quantitäten Wassers von ungleichen Temperaturen zu messen, bemerkt, dafs diese Resultate, falls sie auch bejahend ausfielen, das Gleichbleiben der Wärmecapacitäten bei dieser Flüssigkeit nicht zu beweisen vermöchten, denn es sey auch denkbar, dafs die Wärmecapacität des Quecksilbers auf gleiche Weise als die des Wassers zu-

---

1 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. VIII. S. 844.
2 Journ. de Phys. T. LXXVII. p. 283.
3 Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Th. I. S. 58.

nehme, wonach dann das Mittel aus den Temperaturen beider vereinter Theile sich ebenso in dem gemischten Wasser, als am Thermometer zeigen müsse. Inzwischen meint Dalton, dafs namentlich in Beziehung auf Wasser auch dieser Grund nicht ausreiche, weil dessen Wärmecapacität in einem weit höheren Grade als die des Quecksilbers wachse. Als Gründe hierfür stellt er auf, dafs erstens das Volumen von einem Mafs heifsen und einem Mafs kalten Wassers kleiner sey, als die halbe Summe beider Volumina[1], mithin Verdichtung statt finde, bei Verdichtungen aber allezeit Wärme ausgeschieden werde. Zweitens aber verändere ein Körper stets seine Capacität durch Veränderung seines Aggregatzustandes, und zwar so, dafs sie mit der Temperatur wachse, wie sich dieses beim Uebergange von Eis zu Wasser und zu Dämpfen zeige. Letzteres ist nicht ganz richtig, denn nach Delaroche und Bérard ist die Wärmecapacität des Wasserdampfes geringer, als die des Wassers. Aus diesen Gründen ist Dalton geneigt, die Zunahme der Capacitäten den Zunahmen des Volumens proportional zu setzen, wonach sie für Wasser beim Siedepuncte viermal so grofs, als bei der mittleren Temperatur sey. Um die Sache genauer zu prüfen, stellte er aufser seinen früheren Versuchen in Edinburg neue an, die aber gar keine Beurtheilung zulassen, weil keiner der zahlreichen bedingenden Einflüsse berücksichtigt wurde.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 Unzen Wasser von | 212° F. | und 2 Unzen Eis (?) | von | 32° F. | gaben | 200°,5 |
| 60 — — | — 130° | - — - | — — | — 32 | — | 122,0 |
| 60 — — | — 50° | - — - | — — | — 32 | — | 45,3 |

Im ersten Versuche verloren von 30 Th. Wasser jeder 11°,5 F., also zusammen 345°, und 1 Th. Wasser von 32° gewann 168°,5; der Unterschied 345 — 168,5 = 176,5 drückt die Anzahl der Grade aus, welche in das Eis eindringen, um es in Wasser von 32° zu verwandeln[2]. Die beiden andern Versuche, auf gleiche Weise berechnet, geben 150° und 128°, und da diese drei Zahlen nahe in dem Verhältnifs 5:6:7 stehen, so

1 Dieses ist eine nothwendige Folge der mit den Temperaturen zunehmenden Ausdehnung.

2 Was hier das Eis soll, ist nicht füglich zu entziffern; auch oben steht 2 Unzen Eis, was aber eiskaltes Wasser zu bezeichnen scheint.

folgt, dafs ebenso viel Wärme erfordert werde, um Wasser von niedriger Temperatur um 5 Grade, als um Wasser von mittlerer um 6 und von hoher um 7 Grade zu erheben. Dalton scheint nicht beachtet zu haben, dafs diese Folgerung mit seinen theoretischen Schlüssen im geraden Widerspruche steht, denn hiernach müfsten die Wärmecapacitäten in dem angegebenen Verhältnifs abnehmen. Eine mit wachsender Temperatur abnehmende Wärmecapacität des Wassers und einiger anderen Flüssigkeiten hat auch Ure[1] aus seinen Versuchen gefunden. Mit Anwendung des (§. 419) beschriebenen Verfahrens liefs er in dem gläsernen Kolben folgende Flüssigkeiten erkalten, und beobachtete die hierzu erforderlichen Zeiten. Es erkaltete

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wasser . . . | von | 98°,89 | C. | bis | 65°,56 | in | 21,50 | Minuten |
| | — | 65,56 | — | — | 32,22 | — | 57,00 | — |
| Schwefelsäure . | — | 98,89 | — | — | 65,56 | — | 17,00 | — |
| | — | 65,56 | — | — | 32,22 | — | 39,33 | — |
| Spermacetiöl . . | — | 98,89 | — | — | 65,56 | — | 12,75 | — |
| | — | 65,56 | — | — | 32,22 | — | 29,00 | — |
| Terpentinöl . . | — | 98,89 | — | — | 65,56 | — | 11,25 | — |
| | — | 65,56 | — | — | 32,22 | — | 25,83 | — |

Werden diese Resultate auf die oben angegebene Weise berechnet, so erhält man für

$$\text{Wasser } \frac{21',5}{1,950} = 11',00 \text{ und } \frac{57'}{1,950} = 29',2,$$

$$\text{Schwefelsäure } \frac{17'}{3,695} = 4',6 \text{ und } \frac{39',33}{3,695} = 10',64,$$

$$\text{Spermacetiöl } \frac{12',75}{1,940} = 6',57 \text{ und } \frac{29'}{1,940} = 15',00,$$

$$\text{Terpentinöl } \frac{11',25}{1,875} = 6',0 \text{ und } \frac{25',83}{1,875} = 13',8.$$

Hieraus die Wärmecapacitäten ableitend, die des Wassers als Einheit genommen, findet Ure

---

1 Annals of Phil. 1817. T. X. p. 273. Vergl. Herschel in Encyclop. Metrop. Art. *Heat*. p. 314.

| | höhere Temperaturen | niedere Temperaturen |
|---|---|---|
| Wasser . . . | 1,000 . . . . . . . | 1,000 |
| Schwefelsäure . | 0,418 . . . . . . . | 0,364 |
| Spermacetiöl . . | 0,597 . . . . . . . | 0,513 |
| Terpentinöl . . | 0,545 . . . . . . . | 0,472 |

und schliefst hieraus, dafs zwar die Verhältnisse bei der Schwefelsäure und den beiden Oelen in beiden Reihen zu einander proportional sind, dafs aber die specifische Wärme des Wassers, nach seinem Verhältnisse zu den drei andern Flüssigkeiten, in niedrigeren Temperaturen weit kleiner seyn müsse, als in höheren. Giebt man sich die Mühe, dieses Verhältnifs aus den gegebenen Bestimmungen zu berechnen, und nimmt man hierzu die mittlere Temperatur aus beiden Reihen, so würde sich die Wärmecapacität des Wassers bei 49° C. zu der bei 82° C. nach der Schwefelsäure wie 1:0,8708, nach Spermacetiöl wie 1:0,8593, nach Terpentinöl wie 1:0,8650, also im Mittel wie 1:0,8650 verhalten.

422) Da gerade das Gegentheil bei den Gasen und auch bei festen Körpern statt findet, so wird dadurch mindestens wahrscheinlich, dafs dieses Resultat unrichtig sey, da es auch aufserdem mit theoretischen Gründen nicht wohl im Einklang steht. Es was daher ein verdienstliches Unternehmen, dafs F. E. Neumann[1] diese Frage durch neue Versuche zu beantworten unternahm, welche er mit Anwendung aller, den neuesten Fortschritten der Wissenschaft angemessener Regeln der feineren Kunst des Experimentirens anstellte. Das kalte Wasser befand sich in einem kupfernen Gefäfse, dessen Masse nach gehöriger Reduction für seine specifische Wärmecapacität dem Wasser hinzuaddirt wurde; das durch Wasserdämpfe erhitzte Wasser flofs durch einen Hahn zum kalten, und nach gehörigem Umrühren zeigte ein Thermometer das erzeugte Maximum der Temperatur der Mischung. Dieses Thermometer war nicht blofs für das Caliber corrigirt[2], sondern auch mit einer Loupe und einem Nonius versehn, so dafs 0,01 der Scale abgelesen werden konnte. Mit Uebergehung des sehr ausführlichen Calcüls wird es genügen, nur die aus drei Versuchsreihen erhaltenen

1 Poggendorff's Ann. XXIII. 40.
2 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. VIII. S. 940 ff.

Resultate mitzutheilen. Hiernach war das Verhältniſs der specifischen Wärme des kalten Wassers von der mittleren, bei den Versuchen erhaltenen, also von 27°,5, zu der des heiſsen von 100° C. nach der ersten Versuchsreihe = 1 — 0,00038, nach der zweiten = 1 — 0,0136 und nach der dritten = 1 — 0,00731. Werden diese Gröſsen für die Abkühlung corrigirt, welche das heiſse Wasser während des Herabströmens durch ungleiche Höhen erlitt, so ergiebt sich im Mittel die specifische Wärme des siedenden Wassers zu der des Wassers von 27°,5 Temperatur wie 1,0127 zu 1 und die des siedenden Wassers zu der des Wassers von 0° Wärme wie 1,0176 zu 1. Neumann bemerkt hierbei, daſs diese Gröſse, verglichen mit der Zunahme der Wärmecapacitäten fester Körper für 100° C., wie diese durch Dulong gefunden worden ist, als sehr gering erscheint, denn sie beträgt nur etwa die Hälfte des kleinsten und nur etwa ein Drittel des gröſsten von diesem gefundenen Werthes. Bei dem einzigen zusammengesetzten Körper, dem Glase, beträgt diese Zunahme als Minimum $\frac{1}{28}$, beim Wasser dagegen $\frac{1}{57}$. Aus diesen Versuchen geht nach Neumann unbezweifelt hervor, daſs die Wärmecapacität des Wassers beim Siedepuncte gröſser sey, als beim Gefrierpuncte; zur genauen Bestimmung der Gröſse dieses Unterschiedes aber (glaubt er) seyen noch weitere Beobachtungen erforderlich, diese dürften aber mit groſsen Schwierigkeiten verknüpft seyn, sollten sie den vorliegenden an Genauigkeit gleich kommen oder gar sie übertreffen.

423) Wirklich aber sind seitdem Versuche angestellt worden, welche auf jeden Fall als ausnehmend genau gelten dürfen, und zwar durch Regnault[1]. Das ausführlich von diesem beschriebene Verfahren, die specifischen Wärmecapacitäten verschiedener fester Körper zu bestimmen, wird später (§. 427) mitgetheilt werden, hier aber handelt es sich bloſs um die bei verschiedenen Temperaturen ungleiche Capacität des Wassers, welche er hauptsächlich deswegen unternahm, weil er dadurch die Genauigkeit des von ihm angewandten Verfahrens prüfen wollte. Nach den Resultaten aus zwei Versuchen ergab sich die specifische Wärme des Wassers, wenn sie für die Temperatur zwischen 0° und 20° = 1 gesetzt wird, für

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 1. Poggendorff's Ann. LI. 1 u. 213.

97°,63 = 1,00709 und für 98°,11 = 1,00890, woraus die Zunahme der Wärmecapacität dieser Flüssigkeit gleichfalls evident hervorgeht. Das Mittel aus diesen Werthen, nämlich 1,008, ist allerdings kleiner, als die durch NEUMANN gefundene Gröfse; dürfte man aber annehmen, dafs diese Bestimmug für den Unterschied zwischen 20° und 98° C. gelte, so würde für den Unterschied zwischen 0° und 100° das Verhältnifs 1 : 1,00976 herauskommen.

Die Bestimmungen der specifischen Wärmecapacitäten tropfbarer Flüssigkeiten, wie sie von den verschiedenen Gelehrten gefunden wurden, sind in der unten angehängten allgemeinen Tabelle enthalten.

### c) Specifische Wärmecapacität der festen Körper.

424) Die Bestimmung der specifischen Wärme fester Körper ist mit weit geringeren Schwierigkeiten verbunden, als die bisher beschriebenen Versuche für tropfbare Flüssigkeiten und insbesondere für die Gase unumgänglich erforderten, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs dabei die Methode der Mischungen schon deswegen die geeignetste sey, weil die specifischen Wärmecapacitäten, so wie die specifischen Gewichte, auf Wasser als Einheit reducirt zu werden pflegen. Versuche mit festen Körpern wurden daher in grofser Zahl angestellt, sobald die Lehre von der specifischen Wärmecapacität der Körper aus den Erscheinungen des schmelzenden Eises und der ungleichen Temperatur vereinter heterogener Flüssigkeiten Eingang gefunden hatte. Auch in Beziehung auf feste Körper dürfen wir uns einer Mittheilung der unter einander rücksichtlich der angewandten Methode sehr nahe übereinstimmenden Bemühungen der älteren Physiker BLACK, IRVINE, WILKE, CRAWFORD, KIRWAN, GADOLIN und Anderer überheben. An diese reihen sich diejenigen, welche LAVOISIER und LAPLACE mit dem Eiscalorimeter anstellten, die wegen ihrer hohen Genauigkeit zugleich auch dazu dienen können, die Resultate aus den früheren Versuchen zu controliren[1]. Unter andern er-

---

1 Einen kleinen Beitrag lieferte TARDY DE LA BROSSY, s. Bibl. brit. T. XXXVIII. p. 201.

hitzte Wilke[1] ein Stück Glas bis 86° C., tauchte es in Wasser von 0°, und fand die erhöhete Temperatur = 12°,75. Aus solchen wiederholten, wenig abweichende Resultate gebenden Versuchen fand er die specifische Wärmecapacität des Glases = 0,1877, Lavoisier und Laplace dagegen fanden mittelst ihres Eiscalorimeters diese Gröfse = 0,1929, was nur unbedeutend abweicht. Die übrigen, von diesen Gelehrten aufgefundenen Bestimmungen sind in der unten angehängten Tabelle enthalten.

425) Inzwischen ist dieses Gebiet durch die Bemühungen neuerer Gelehrten nicht unbedeutend erweitert worden, indem sie theils die älteren Bestimmungen verbesserten, theils neue hinzufügten, wovon wir das Wesentlichste hier mittheilen wollen. Joh. Tob. Mayer[2] bestimmte vermittelst seiner Methode des Erkaltens die specifischen Wärmecapacitäten einiger gut ausgetrockneter Hölzer, namentlich des Forlenholzes = 0,600; des Lindenholzes = 0,670; des Ulmenholzes = 0,450 und des Birnbaumholzes = 0,50. Dalton[3] blieb der älteren Methode der Mischungen getreu, und erhielt hierdurch Werthe, die von den durch Wilke und Crawford gefundenen nur wenig abweichen. Er bediente sich dazu eines kleinen gläsernen Gefäfses, bestimmte dessen Wärmecapacität, und gofs dann so viel Wasser hinein, dafs das Ganze ein Gewicht Wasser gab, welches dem der eingetauchten Körper gerade gleich kam. Die zu untersuchenden Körper erhitzte er bis 100° C., senkte sie dann schnell in das Wasser und nahm an, dafs die specifische Wärmecapacität gleicher Gewichte des festen Körpers und des Wassers sich umgekehrt verhalte, wie die Veränderungen der Temperaturen, die sie erfahren. Auf diese Weise erhielt er viele Bestimmungen, die in der unten angehängten Tabelle mit aufgenommen worden sind. Der Methode der Abkühlung bediente sich auch Despretz[4], um die specifischen Wärmecapacitäten einiger Metalle aufzufinden, indem er gleich schwere Kugeln derselben mit einer Höhlung versah, in diese die Kugel eines

1 Schwed. Abhandl. für d. Jahr 1781.

2 V. Crell's Ann. 1798. St. 6.

3 Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Th. I. S. 69.

4 Ann. de Chim. et Phys. T. VI. p. 184.

empfindlichen Thermometers senkte, den übrigen Raum mit Feilstaub des nämlichen Metalles füllte, die Kugeln dann in unbewegter Luft in einem grofsen Zimmer an Seidenfäden aufhing, und die ungleichen Zeiten ihres Erkaltens beobachtete. Um hierbei die Wirkungen der mehr oder minder bewegten strahlenden Oberfläche unschädlich zu machen, überzog er sie sämmtlich auf gleiche Weise mit dem nämlichen Firnifs, erhitzte sie durch einen heifsen Luftstrom 15° bis 20° über denjenigen Punct, wobei die Beobachtung anfangen sollte, und las die Temperaturen an dem Thermometer ab, dessen Kugel in die Mitte derselben hinabgesenkt war, an dessen Scale noch 16tel Grade geschätzt werden konnten, um den Stand desselben mit einem andern zu vergleichen, welches in 3 Fufs Entfernung hing, und dessen Scale noch 30stel eines Grades zu unterscheiden gestattete. Die Rechnung, wodurch aus diesen Beobachtungen die specifische Wärme der verschiedenen Metalle gefunden wurde, beruht auf folgenden Principien. Heifst der Ueberschufs der Temperatur des Körpers über die der Umgebung u; die Zeit des Erkaltens von dem nämlichen Puncte bis zu einem andern, welche beide Puncte bei allen untersuchten Körpern gleich waren, t; die Leitungsfähigkeit, bestimmt aus der Quantität der Wärme, welche die Einheit der Oberfläche, auf der Temperatur des Siedepunctes des Wassers erhalten, während der Einheit der Zeit in der umgebenden Luft, auf der Temperatur des Gefrierpunctes bleibend erhalten, verlieren würde, h; das Volumen des Körpers v; seine Dichtigkeit d; seine specifische Wärme c; die Basis der hyperbolischen Logarithmen e; so ist:

$$u = e^{-\frac{hts}{cvd}},$$

und wenn man $\frac{rs}{3} = v$ setzt,

$$u = e^{-\frac{3ht}{cdr}}.$$

Für eine andere Zeit $= t'$ hat man daher

$$u' = e^{-\frac{3ht'}{cdr}},$$

folglich $\text{Log. } u - \text{Log. } u' = \frac{3h(t'-t)\,\text{Log. } e}{cdr}$,

und hieraus:

$$c = \frac{3h \operatorname{Log.} e\,(t'-t)}{(\operatorname{Log.} u - \operatorname{Log.} u')\,dr}.$$

Sind dann ferner u und u′, so wie auch h und r in den Versuchen mit verschiedenen Körpern gleich, so hat man zur Bestimmung ihrer relativen Wärmecapacitäten

$$c = \frac{t'-t}{d},$$

welches mit der Formel von J. T. Mayer (§. 382) übereinkommt. Die auf diese Weise gefundenen Bestimmungen sind zwar unter sich, aber, da sie nicht auf Wasser reducirt sind, nicht mit denen von Andern gefundenen vergleichbar; da aber Despretz selbst sie mit einigen von Andern gefundenen vergleicht, so habe ich die für Zinn von Lavoisier und Laplace gefundene Gröſse gewählt, um diese Reduction vorzunehmen, und sie dadurch vergleichbar gemacht. So reducirt finden sie sich in der unten angehängten Tabelle.

426) Von vorzüglicher Wichtigkeit sind die durch Dulong und Petit angestellten Versuche[1], weil sie auſser den eigentlich gesuchten Bestimmungen zu Resultaten führten, die bis auf die neuesten Zeiten fortdauernd einen Gegenstand weiterer Untersuchungen bildeten. Diese Gelehrten gestehen zu, daſs die Methode der Mischung, oder die Anwendung des Eiscalorimeters, bei gehöriger Vorsicht sehr genaue Resultate liefern könne; weil aber die zu untersuchenden Substanzen selten in genügender Quantität vorhanden sind, was wohl vorzugsweise in Beziehung auf das Eiscalorimeter gilt, so zogen sie die Methode der Abkühlung vor, und bemüheten sich dabei hauptsächlich, die beiden Fehler, die aus der ungleichen Leitungsfähigkeit der gebrauchten Massen und der zu schnellen Abkühlung entspringen, dadurch zu vermeiden, daſs sie nur geringe Mengen anwandten und für langsames Erkalten sorgten. Letzteres lieſs sich dadurch erreichen, daſs die Erkaltung nur bei Temperaturen statt fand, die 10° bis 5° über die der Umgebung betrugen. Um die Fehler der Thermometer auszugleichen, diente das nämliche Thermometer bei allen Substan-

1 Annales de Chim. et Phys. T. VII. p. 142. T. X. p. 395. Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 81. Mém. de l'Institut 1827. p. 147.

zen so, dafs die Erkaltung von dem nämlichen Puncte bis zu einem andern, für alle gleichen, statt fand, und durch das Ablesen mit einer stark vergröfsernden Loupe konnte kein Irrthum in der Temperaturbestimmung höher als 0°,01 C. steigen, was auf die Bestimmung der specifischen Wärme keinen mefsbaren Einflufs mehr ausübt. Um die Wirkung der äufseren Umgebung zu beseitigen, wurde der zu untersuchende Körper jedesmal in einen kupfernen, inwendig berufsten Ballon eingesenkt, welcher in einem Gefäfse mit schmelzendem Eise stand, so dafs die Strahlung stets die nämliche war; aufserdem waren die zu untersuchenden Substanzen pulverisirt, in einem Cylinder von dünnem Silber festgestampft, in dessen Axe der Behälter des Thermometers sich befand, welches zum Messen der Temperatur diente, der kupferne Ballon aber, in welchem dieser Cylinder erkaltete, wurde bis auf 2 Millim. Quecksilberdruck ausgepumpt. Wie weit die erforderlichen Bedingungen erreicht wurden, ersieht man daraus, dafs selbst die dichtesten Körper, als Gold und Platin, nicht mehr als 30 Gramm betrugen, die Zeit des Erkaltens aber mindestens 15 Minuten dauerte. Eine Vergleichung der erhaltenen Resultate mit solchen, die durch Mischung und Anwendung eines Eiscalorimeters gefunden waren, zeigte die grofse Genauigkeit derselben. Dulong und Petit gelangten durch ihre Versuche zu einem höchst merkwürdigen *Gesetze*, wonach die Atome aller einfachen Körper genau die nämliche Wärmecapacität haben sollen, oder mit andern Worten, wenn S die specifische Wärmecapacität und A das Atomgewicht bezeichnen, so ist $S = \frac{C}{A}$ und annähernd $S = \frac{0{,}375}{A}$, oder *das Product der specifischen Wärmecapacitäten in die Atomgewichte ist eine constante Gröfse.* Wir wollen zuerst die durch die genannten Gelehrten gefundenen Bestimmungen mittheilen, und dann bei den folgenden Untersuchungen dieses wichtige Gesetz im Auge behalten.

| Substanzen | S | A | SA |
|---|---|---|---|
| Wismuth . . . | 0,0288 | 13,300 | 0,3830 |
| Blei . . . . . . | 0,0293 | 12,950 | 0,3794 |
| Gold . . . . . | 0,0298 | 12,430 | 0,3704 |
| Platin . . . . . | 0,0314 | 11,160 | 0,3740 |
| Zinn . . . . . | 0,0514 | 7,350 | 0,3779 |
| Silber . . . . . | 0,0557 | 6,750 | 0,3759 |
| Zink . . . . | 0,0927 | 4,030 | 0,3736 |
| Tellur . . . . . | 0,0912 | 4,030 | 0,3675 |
| Kupfer . . . . . | 0,0949 | 3,957 | 0,3755 |
| Nickel . . . . . | 0,1035 | 3,690 | 0,3819 |
| Eisen . . . . . | 0,1100 | 3,392 | 0,3731 |
| Kobalt . . . . . | 0,1498 | 2,460 | 0,3685 |
| Schwefel . . . | 0,1880 | 2,011 | 0,3780 |

Obgleich seit der Zeit, in welche diese Versuche fallen, noch viele andere angestellt wurden, von denen die wichtigeren demnächst erwähnt werden sollen, so scheint es doch am angemessensten, ihnen zunächst die nachfolgenden anzureihen.

427) Das durch Dulong und Petit aufgestellte allgemeine Gesetz ist zwar ausnehmend wichtig und erregte daher auch anfangs viel Aufsehen, allein es stimmt nach der Meinung einiger Physiker mit den neuerdings durch Mitscherlich's Gesetz des Isomorphismus und die genauen Versuche von Berzelius richtiger aufgefundenen Atomgewichten nicht überein, wie hauptsächlich Victor Regnault[1] zu zeigen sich bemüht hat. Nimmt man statt jener älteren Bestimmungen diese neueren der Atomgewichte, so weichen die Producte derselben in die specifischen Wärmen allerdings ungemein von einander ab, wie folgende Uebersicht zeigt.

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 7. Poggendorff's Ann. LI. 1 u. 213.

| Substanzen | spec. Wärme | Atomgewichte | Producte |
|---|---|---|---|
| Wismuth . . . | 0,0288 | 8,87 | 0,2553 |
| Blei . . . . . | 0,0293 | 12,95 | 0,3794 |
| Gold . . . . | 0,0289 | 12,43 | 0,3704 |
| Platin . . . . | 0,0314 | 12,33 | 0,3872 |
| Zinn . . . . | 0,0514 | 7,35 | 0,3799 |
| Silber . . . . | 0,0557 | 13,51 | 0,7518 |
| Zink . . . . | 0,0927 | 4,03 | 0,3736 |
| Tellur . . . . | 0,0912 | 8,06 | 0,7350 |
| Kupfer . . . . | 0,0949 | 3,957 | 0,3755 |
| Nickel . . . . | 0,1035 | 3,69 | 0,3819 |
| Eisen . . . . | 0,1100 | 3,392 | 0,3731 |
| Kobalt . . . . | 0,1498 | 3,69 | 0,5528 |
| Schwefel . . . | 0,1880 | 2,011 | 0,3780 |

Auffallend bleibt hierbei immer die bei vielen so auffallende Uebereinstimmung neben den grofsen Abweichungen bei andern, ohne dafs diese durch Zwischenglieder ausgeglichen werden.

428) Regnault stellte selbst eine Reihe von Versuchen an und bediente sich dabei der Methode der Mischungen. Die zu untersuchenden Körper wurden als kleinere oder gröfsere Stücke in einen kleinen Korb aus sehr dünnem Messingdrahte gelegt, welcher in seiner Axe eine Hülse hatte, um das zum Messen der erreichten Temperatur dienende Thermometer aufzunehmen. Dieses Körbchen wurde zum Erwärmen mittelst Seidenfäden im Wärmekasten aufgehangen, welcher aus drei concentrischen Cylindern aus Weifsblech bestand. Der innerste Fig.
Cylinder A diente zur Aufnahme des Körbchens mit den zu 65.
untersuchenden Körpern und einem Thermometer in der inneren, durch die Zeichnung kenntlichen Hülse. Der ihn umgebende Cylinder BB aus Weifsblech ist stets mit siedendem Wasserdampf erfüllt, welcher aus dem Kessel V einströmt, durch das Rohr T wieder entweicht und sich im Schlangenrohre S verdichtet. Der äufserste Cylinder CC dient als Mantel, um vermittelst der eingeschlossenen Luftschicht die Abkühlung des Cylinders BB zu verhüten. Am oberen Ende ist der Cylinder A durch einen Stopfer von Weifsblech bb verschlossen, durch welchen das Thermometerrohr herausragt, am unteren durch einen verschiebbaren hohlen Cylinder R, gleichfalls aus Weifsblech, von gleicher Dicke als die äufsere Hülle

CC. Als Träger des Erwärmungsapparates dient das hohle Gefäſs DD von Weiſsblech, welches mit stets erneuertem Wasser von der Temperatur der Umgebung gefüllt wird und dazu dient, um zu verhüten, daſs das Wassergefäſs beim Versuche keine Wärme vom Wärmungsapparate annimmt. In seiner Mitte ist dieser Träger durch eine der Weite des Cylinders A genau gleiche Oeffnung durchbohrt, welche während des Erwärmens durch den verschiebbaren Deckel R′ verschlossen gehalten wird, indem er durch das Verbindungsstück m am Schlieſser R festsitzt; beide werden gleichzeitig mit einander herabgezogen, wenn man den Cylinder A unten öffnen will. Das Gefäſs H, mit Wasser gefüllt, in welches man den Kork mit der zu untersuchenden Substanz herabsenkt, besteht aus sehr dünnem Messingblech und wird durch zwei sich durchkreuzende Seidenfäden gehalten, die an die Träger des in einer Nuth verschiebbaren Gestelles festgebunden sind. In geringem Abstande von der Wand dieses Gefäſses hängt das Thermometer, dessen Cylinder so lang ist, als die Höhe des Wassers vom Boden an beträgt, und im Durchmesser nicht ganz drei Millimeter miſst, um die Temperatur des Wassers schnell anzunehmen, zugleich aber ist 1 Centesimalgrad der willkürlich getheilten Scale in 15 Theile getheilt, und die Beobachtung geschieht mittelst eines Fernrohrs mit horizontaler Axe, welches an seinem Träger mit getheilter Scale in verticaler Richtung verschoben wird, wodurch mittelst eines Nonius die Eintheilung jedes Scalentheiles in Zehntel möglich gemacht ist. Das Wasser wird in dieses Gefäſs aus einem Glase mit engem Halse geschüttet, welches genau die erforderliche Menge enthält, so daſs nach dem Einsenken des Körbchens das Gefäſs fast genau voll ist und mit kleinen Differenzen 500 Gramm Wasser enthält.

Ist das Körbchen im Cylinder A aufgehangen und hat die Erwärmung begonnen, so steigt die Temperatur zwar anfangs rasch, aber dennoch dauert es sehr lange, bis das Thermometer einen bleibenden Stand angenommen hat, welcher stets 1 bis 2 Grade unter der des Dampfes bleibt. Diesen erreicht es in etwa zwei Stunden, muſs aber dann noch eine Stunde in diesem Zustande erhalten werden, ohne um die Hälfte eines Scalentheiles, also 0°,1 C., zu variiren, denn die langsame Erwärmung ist das Mittel, allen Theilen des zu untersuchenden Körpers die nämliche Temperatur zu geben. Dann

wird das Wassergefäſs eingerichtet, seine Temperatur mittelst des Fernrohrs abgelesen, die Temperatur der Umgebung nach einem empfindlichen, in der Nähe des Wassergefäſses aufgehangenen Thermometer bestimmt, und das Wassergefäſs gerade unter den Cylinder A geschoben, indem ein Einschnitt in den Heizapparat die Röhre des Thermometers aufnimmt. Nach Wegnahme des unteren Verschlusses des Cylinders A läſst man das losgebundene Körbchen in das Wassergefäſs herab; und während ein Gehülfe dasselbe im Wasser stets herumdreht, beobachtet man mittelst des Fernrohrs den Gang des Thermometers. In nicht mehr als 0,5 Secunden (?) geschieht das Herablassen des Körbchens in das Wasser und letzteres gelangt zum Maximum seiner Temperatur in etwa 1 bis 2 Minuten, wenn der Körper nicht ein schlechter Wärmeleiter ist, wobei noch die Vorsicht angewandt wurde, dem Wasser im Kühlgefäſse eine Temperatur zu geben, welche 1° bis 2° niedriger war als die der Umgebung, weil es am Ende des Versuches diese um nahe ebenso viel übertraf. Auſserdem aber wurde noch eine kleine Correction für den geringen Wärmeverlust durch Strahlung angebracht, deren Gröſse durch vorläufige Versuche bestimmt war.

429) Im Allgemeinen wird vorausgesetzt, daſs die zu untersuchenden Körper in hinlänglich groſsen Stücken vorhanden sind, was aber nicht jederzeit der Fall ist. Flüssigkeiten schlieſst man in gläserne Röhren von 15 Millim. Durchmesser ein, die oben und unten verschlossen und bis auf einen kleinen, der Ausdehnung wegen gelassenen Raum ganz erfüllt sind. Diese werden in das Körbchen gelegt, und man verfährt dann, wie gewöhnlich. Hierbei dauert die Abkühlung etwa 3 Minuten, und das Resultat wird wegen des vorher genau bestimmten Einflusses der Glashülle corrigirt. Pulverartige Körper, als Metallspähne und Metalloxyde, werden benetzt und zusammengeballet, dann getrocknet, um sie in das Körbchen bringen zu können; mitunter kann man sie in hohlen Cylindern zusammenpressen, wodurch sie zusammenhängend werden. Wenn alles dieses nicht gelingt, so schüttet man sie in kleine Cylinder von sehr dünnem Messing, 15 Millim. im Durchmesser und 60 Millim. hoch, worin man sie festdrückt, und die man in das Körbchen bringt. Es geschieht dieses jedoch nur in unvermeidlichen Fällen, weil die Resultate weniger genau werden;

denn die Zeit der Abkühlung dauert länger, und zwar 10 bis 15 Minuten. Da nach dem Princip der Methode das Maximum der Temperatur des Wassers nach dem Vorgange von Delaroche und Bérard gesucht wird, das heifst dasjenige Stadium, wobei der Körper dem Wasser ebenso viele Wärme mittheilt, als es durch Strahlung verliert, so wird hierbei vorausgesetzt, dafs dann der Körper mit dem Wasser eine gleiche Wärme habe, was aber nicht der Fall ist, wenn man mit einem schlechten Leiter operirt, und daher die Zeit, bis zum Erreichen des Maximums länger dauert. Dieses findet dann statt, wenn man auf die zuletzt angegebene Weise mit Pulvern in messingnen Behältern operirt. Regnault brachte hierbei eine Correction an, indem er die Zeiten und Grade der Erwärmung des Wassergefäfses vom Anfange an bis zum Eintritt des Maximums in eine Relation brachte; inzwischen übergehe ich dieses und bemerke nur, dafs auch bei Flüssigkeiten in Glasröhren eine etwas längere Zeit erfordert wurde, jedoch war in diesem Falle die Correction unnöthig, weil sie nur eine verschwindend kleine Gröfse gab. Auf jeden Fall können die erhaltenen Resultate für so viel genauer gelten, je kürzere Zeit bis zur Erreichung des stationären Zustandes erfordert wurde. Für Körper, die im Wasser auflöslich sind, wählte Regnault Terpentinspiritus statt des Wassers im Kühlgefäfse, nachdem vorher durch vorläufige Versuche dessen specifische Wärme zwischen 5° und 15° Temperatur bestimmt, und die Abkühlung dieser Flüssigkeit in ihrem Gefäfse ausgemittelt war, um den durch Ausstrahlung bewirkten Wärmeverlust derselben bei den Versuchen in Rechnung zu nehmen. Uebrigens ist diese Flüssigkeit für den vorliegenden Zweck sehr geeignet, wegen ihrer grofsen Fluidität, aber der Wärmeverlust an die äufsere Umgebung ist ungleich schneller als beim Wasser wegen ihrer geringeren Wärmecapacität, welche nur 0,43 beträgt, weswegen auch die durch die nämlichen Körper in Folge des Eintauchens in ihr erzeugte Temperaturerhöhung fast 2,5mal stärker ist als diejenige, die Wasser erhält. Um zu verhüten, dafs die Veränderung, welche der Terpentinspiritus durch den Einflufs der äufsern Luft erleiden könnte, keine Unrichtigkeit in der Bestimmung der specifischen Wärme erzeugen möchte, wurden von Zeit zu Zeit Versuche mit dem nämlichen, für diesen Zweck aufbewahrten Stücke Kupfer angestellt, die daher die

nämlichen Resultate geben mufsten, so lange die Flüssigkeit keine wesentliche Veränderung erlitten hatte. Dennoch aber wurde die nämliche Quantität nur drei Wochen lang gebraucht, und Sorge getragen, dafs sie während dieser Zeit dem Einflusse der äufsern Luft so wenig als möglich ausgesetzt war.

430) Regnault's Versuche sind so gehaltreich und können so sehr als Muster für ähnliche Arbeiten gelten, dafs sie eine ausführliche Erwähnung verdienen. Das Messing des Gefäfses wog 55,15 Gramm und galt bei einer specifischen Wärmecapacität = 0,0939 für 5,18 Gramm Wasser; das Quecksilber des Thermometers wog 7,62 Gr. und giebt also ein Aequivalent von 0,251 Gramm Wasser; das Glas desselben und ein Theil der Röhre, zusammen 1,27 Gramm, gilt für 0,265 Gramm Wasser, wonach also der eingetauchte Theil des Thermometers auf Wasser reducirt 0,516 Gramm beträgt, und zu dem Gewichte des Wassers selbst noch 5,7 Gramm hinzukommen. Die reducirten Gewichte der gebrauchten Körbchen schwanken zwischen 1,284 und 0,258 Gramm. Da dieselben aber aus so dünnen Drähten bestehen, und so viel Oberfläche darbieten, zog Regnault vor, ihren Einflufs durch directe Versuche aufzufinden, die mit 10, 20 und 30 Gramm Blei angestellt wurden, dessen specifische Wärme genau bekannt ist. Er fand für das eine derselben 0,913, statt dafs die Berechnung 1,147 gegeben hatte, weswegen er die übrigen hiernach reducirte. Die Formel für die Abkühlung des Wassers ist

$$\Delta\Theta = 0°,0001386\,\Theta$$

und des Terpentinspiritus

$$\Delta\Theta = 0°,0002075\,\Theta,$$

worin $\Theta$ den Ueberschufs der Temperatur des Wassers über die Umgebung und $\Delta\,\Theta$ den Wärmeverlust in 1 Secunde bezeichnet. Der gesammte Wärmeverlust wurde gefunden, indem man $\Delta\,\Theta$ mit der Zahl der Secunden multiplicirte, während deren die Abkühlung statt fand. Diese Formeln stimmten mit einer Reihe von Versuchen überein, welche zur Ermittelung des Erkaltens von Wasser und Terpentinspiritus angestellt wurden, während man ein kleines angefülltes Körbchen stets darin bewegte.

431) Die Resultate der Versuche scheinen mir so wichtig, dafs ich die Zusammenstellung derselben in einer Tabelle, wie

diese durch Regnault gegeben worden ist, hier aufnehme, da in der am Ende mitgetheilten allgemeinen Tabelle nur die Hauptresultate Platz finden können. Voraus ist aber in Beziehung auf die Körper, deren specifische Wärme ermittelt wurde, noch zu bemerken, dafs das angewandte Messing aus 71 Kupfer, 27,6 Zink, 1,3 Blei und einer Spur von Zinn bestand. Um die specifische Wärme des Terpentinspiritus innerhalb der Temperaturen zu finden, bei denen es in den Versuchen in Anwendung kam, wurde das messingne Gefäfs mit der gewöhnlich gebrauchten Menge dieser Flüssigkeit gefüllt, und dann die Temperaturerhöhung beobachtet, welche eine gewogene Menge Kupfer in demselben erzeugte, dessen specifische Wärme vermittelst Wassers sehr genau = 0,09515 gefunden war. Das untersuchte Zink war durch Destillation gereinigt, und aufserdem wurde die Oberfläche der Körner durch verdünnte Salzsäure blank gemacht. Auch das Arsenik war auf diese Weise gereinigt. Das Cadmium war sehr rein und zeigte bei der Analyse nur ein Procent beigemischte fremdartige Substanz. Zur Reinigung des Wismuth diente ein mehrmaliges Schmelzen desselben mit 0,1 seines Gewichts Salpeter, ebenso wurde auch das Spiefsglanz gereinigt. Das Zinn war ganz reines von Banca, Nickel dagegen ist nicht leicht völlig rein zu erhalten, und seine specifische Wärme möchte daher wohl etwas zu grofs seyn. Das Palladium enthielt nur eine Spur Gold, das Scheel war aus Scheelsäure mittelst Wasserstoffs reducirt und dann stark geglüht, ebenso das Molybden und Uran, der Schwefel war durch Destillation gereinigt und dann geschmolzen, das Selen mochte wohl eine Spur von Schwefel enthalten, die aber durch Versuche nicht aufzufinden war, das Iod war durch Destillation gereinigt, das Iridium war vermuthlich nicht rein, da man es selten so erhält, denn es hatte nur 13,176 specifisches Gewicht, statt dafs man ihm gewöhnlich 15,683 beilegt, und die gefundene specifische Wärme mufs daher etwas zu grofs seyn. Kohlenstoff wird gleichfalls sehr schwer rein erhalten, und ist dann nur in feinster Pulverform vorhanden, welche für diese Art der Versuche als die ungünstigste gelten mufs; Regnault begnügte sich daher den Versuch mit feinem Pulver von Holzkohle anzustellen, die mit Salzsäure rein ausgewaschen war, wozu er etwas concentrirte Zuckerlösung setzte und dann die Masse nochmals

calcinirte, um eine poröse Masse zu erhalten, die er in das Drahtkörbchen legen konnte; inzwischen kann die gefundene specifische Wärme nicht absolut genau seyn, denn es zeigte sich eine wahrnehmbare Menge Asche der Kohle beigemengt, die auf die Bestimmung der specifischen Wärmecapacität einen Einflufs ausüben mufste[1]. Der Phosphor wurde in Glasröhren eingeschlossen, und auf diese Weise nur bis 30° C. mittelst einer besondern Vorrichtung erhitzt in das Kühlgefäfs mit Terpentinspiritus gebracht, weswegen die gefundene specifische Wärme wohl nicht absolut genau seyn mag. Weil aber Avogadro diese fast dreimal so grofs gefunden hat, so stellte Regnault noch einige Versuche an, wobei der Phosphor im gewöhnlichen Apparate bis nahe an 100° C. erwärmt und dann im Wassergefäfse abgekühlt wurde. Hierbei enthielt das Resultat offenbar zugleich die Flüssigkeitswärme, aber dennoch blieb es noch bedeutend hinter dem durch Avogadro gefundenen zurück. Mangan ist nicht wohl rein in metallischer Form zu erhalten, und das mit Kohlenpulver stark geglühete mufste daher einen beträchtlichen Zusatz von Kohlenstoff enthalten, weswegen das Resultat nicht als völlig genau gelten kann. Folgende Tabelle enthält eine Uebersicht der gefundenen und berechneten Gröfsen.

---

1 Ueber die specifische Wärme des Kohlenstoffs vergl. §. 447.

| Substanzen | spec. Wärme | Mittel | spec. Wärme nach Dulong | Atomgewichte | Producte |
|---|---|---|---|---|---|
| Messing . . . | 0,09404<br>0,09378 | 0,09391 | . . . . | . . . . | . . . . |
| Glas . . . . . | 0,19768 | 0,19768 | . . . . | . . . . | . . . . |
| Wasser von 0° bis 100° . . | 1,00709<br>1,00890 | 1,00800 | . . . . | . . . . | . . . . |
| Terpentinspiritus . . . . | 0,42988<br>0,42667<br>0,42089<br>0,42745<br>0,42476 | 0,42593 | . . . . | . . . . | . . . . |
| Eisen . . . . | 0,11362<br>0,11373<br>0,11322<br>0,11284<br>0,11397 | 0,11379 | 0,1100 | 339,21 | 38,597 |
| Zink . . . . . | 0,09589<br>0,09528<br>0,09548 | 0,09555 | 0,0927 | 403,23 | 38,526 |
| Kupfer . . . . | 0,09537<br>0,09546<br>0,09497<br>0,09480 | 0,09515 | 0,0949 | 395,70 | 37,849 |
| Cadmium . . . | 0,05695<br>0,05673<br>0,05639 | 0,05669 | . . . . | 696,77 | 39,502 |
| Silber . . . . | 0,05739<br>0,05691<br>0,05685<br>0,05679<br>0,05712 | 0,05701 | 0,0557 | 675,80 | 38,527 |
| Arsenik . . . | 0,08163<br>0,08205<br>0,08114<br>0,08081<br>0,08136<br>0,08117 | 0,08140 | 0,0810 | 470,04 | 38,261 |
| Blei . . . . . | 0,03134<br>0,03177<br>0,03109<br>0,03137<br>0,03145<br>0,03129<br>0,03150<br>0,03133 | 0,03140 | 0,0293 | 1294,50 | 40,647 |

| Substanzen | spec. Wärme | Mittel | spec. Wärme nach Dulong | Atomgewichte | Producte |
|---|---|---|---|---|---|
| Wismuth . . . | 0,03082<br>0,03089<br>0,03081<br>0,03084<br>0,03093 | 0,03084 | 0,0288 | 1330,37 | 45,034 |
| Antimon . . . | 0,05113<br>0,05037<br>0,05084<br>0,05076<br>0,05065 | 0,05077 | 0,0507 | 806,45 | 40,944 |
| Zinn, indisches . . . | 0,05624<br>0,05619<br>0,05652<br>0,05623<br>0,05601 | 0,05623 | 0,0514 | 735,29 | 41,345 |
| Zinn, englisches . . . | 0,05685<br>0,05705 | 0,05695 | . . . . | . . . . | . . . . |
| Nickel . . . . | 0,10873<br>0,10838<br>0,10878 | 0,10863 | 0,1035 | 369,68 | 40,160 |
| Cobalt . . . . | 0,10685<br>0,10707<br>0,10629<br>0,10784 | 0,10696 | 0,1489 | 368,99 | 39,468 |
| Platinblech . . | 0,03279<br>0,03246<br>0,03227<br>0,03224<br>0,03238<br>0,03268<br>0,03263 | 0,03243 | 0,0314 | 1233,50 | 39,993 |
| Platinschwamm . | 0,03305<br>0,03281 | 0,03293 | . . . . | . . . . | . . . . |
| Palladium . . | 0,05974<br>0,05893<br>0,05916 | 0,05927 | . . . . | 665,90 | 39,468 |
| Gold . . . . . | 0,03250<br>0,03238 | 0,03244 | 0,0298 | 1243,01 | 40,328 |
| Schwefel . . . | 0,20446<br>0,20179<br>0,20153 | 0,20259 | 0,1880 | 201,17 | 40,754 |
| Selen . . . . . | 0,08349<br>0,08396<br>0,08368 | 0,08370 | . . . . | 494,58 | 41,403 |

| Substanzen | spec. Wärme | Mittel | spec. Wärme nach Dulong | Atomgewichte | Producte |
|---|---|---|---|---|---|
| Tellur . . . . | 0,05046<br>0,05194<br>0,05177<br>0,05205 | 0,05155 | 0,0912 | 801,76 | 41,549 |
| Iod . . . . . | 0,05423<br>0,05401 | 0,05412 | 0,08900 | 789,75 | 42,703 |
| Uran . . . . | 0,06239<br>0,06191<br>0,06140 | 0,06190 | . . . . | 677,84 | 41,960 |
| Scheel . . . | 0,03685<br>0,03616<br>0,03606 | 0,03636 | . . . . | 1183,00 | 43,002 |
| Molybden . . | 0,07254<br>0,07182 | 0,07218 | . . . . | 598,52 | 43,163 |
| Nickel, nicht geschmolzen | 0,11136<br>0,11207<br>0,11232 | 0,11192 | . . . . | 369,68 | 41,376 |
| Nickel, geschmolzen | 0,11676<br>0,11586 | 0,11631 | . . . . | 369,68 | 42,999 |
| Cobalt . . . | 0,11619<br>0,11782<br>0,11734 | 0,11712 | . . . . | 368,99 | 43,217 |
| Stahl . . . . | 0,11789<br>0,11896 | 0,11848 | . . . . | 339,21 | 40,172 |
| Stahl, feiner | 0,12728 | 0,12728 | . . . . | 339,21 | 43,174 |
| Gufseisen . . | 0,12983 | 0,12983 | . . . . | 339,21 | 44,038 |
| Kohle . . . . | 0,24111 | 0,24111 | 0,25000 | 152,88 | 36,873 |
| Phosphor 10° bis 30° . . | 0,18950<br>0,18780 | 0,18870 | 0,38500 | 196,14 | 37,024 |
| Phosphor 0° bis 100° C. | 0,25250<br>0,25034 | 0,25146 | . . . . | . . . . | . . . . |
| Iridium (unrein) . . . | 0,03715<br>0,03663<br>0,03672 | 0,03683 | . . . . | 1233,50 | 45,428 |
| Mangan (unrein) . . . | 0,14244<br>0,14578 | 0,14411 | . . . . | 345,89 | 49,848 |
| Quecksilber | 0,03318<br>0,03361<br>0,03343 | 0,03332 | 0,0330 | 1265,82 | 42,149 |

Im Ganzen stimmen die hier mitgetheilten Gröfsen mit den durch Dulong und Petit gefundenen genau genug überein, was sehr für ihre Richtigkeit zeugt. Regnault meint, die von ihm erhaltenen Bestimmungen seyen im Allgemeinen etwas gröfser als die jener Beobachter, was er davon ableitet, dafs diese die im Wasser erwärmten Körper ins Kühlgefäfs trugen, wodurch eine geringe Abkühlung entstehn mufste; inzwischen ist ein solcher constanter Unterschied kaum merkbar.

432) Handelt es sich um die Frage, ob das von Dulong und Petit aufgestellte Gesetz gültig sey, so ist allerdings das Product der Atomgewichte in die specifischen Wärmen nach der hier mitgetheilten Tabelle keine constante Gröfse, vielmehr schwanken diese Producte zwischen 38 und 42 (denn es kann hierbei blofs von einfachen Körpern und von denjenigen Bestimmungen die Rede seyn, die keine erweislichen Unrichtigkeiten einschliefsen, wie z. B. die des Mangans und Irids), allein auch dieser Unterschied ist gröfser als er bei der Genauigkeit der Versuche seyn dürfte. Regnault zählt indefs mehrere Ursachen auf, welche die Gröfse der specifischen Wärme der Körper bedingen. Dahin gehört namentlich diejenige Wärme, welche die Körper flüssig macht, und daher schon vor dem Eintritt dieses Flüssigkeitszustandes wirksam seyn soll. Aufserdem aber ist die gemessene specifische Wärme diejenige, welche den Körper zugleich ausdehnt, sofern er mit dem Uebergange von einer Temperatur zu einer höheren zugleich eine Vergröfserung seines Volumens erleidet, und die man daher die *Ausdehnungswärme* nennen könnte. Sie ist sehr grofs in den gasförmigen Körpern, weit geringer in den flüssigen und festen, und mufs, wie Regnault meint[1], die specifische Wärme nothwendig veränderlich machen. Hierzu kommt, dafs man bei der Bestimmung der specifischen Wärme von einer beliebigen Temperatur ausgeht, die zu der physischen Beschaffenheit der einzelnen Körper, z. B. zu ihrer geringeren oder gröfseren Strengflüssigkeit, in keinem nothwendigen Zusammenhange steht; was um so wichtiger erscheint, wenn man berücksichtigt, dafs die specifische Wärme mit der Zunahme der Temperatur wächst. Endlich ist zu berücksichtigen, dafs auch mit der Dichtigkeit der nämlichen Körper ihre

1 Vergl. die hierüber angestellten Betrachtungen in §. 403 ff.

specifische Wärme abnimmt. So zeigte Kupfer in zwei Versuchen 0,09501 und 0,09455, nach starkem Hämmern aber 0,09360 und 0,09332, und nach dem Ausglühen 0,09493 und 0,09479, wogegen Blei und Zinn nach dem Pressen keine Vermehrung weder der Dichtigkeit nach der specifischen Wärme zeigten. Wäre es möglich alle diese Bedingungen mit in die Gleichung aufzunehmen, so würde sich wohl ohne Zweifel das aufgestellte Gesetz als genau mit der Erfahrung übereinstimmend zeigen.

Was Regnault ferner über die Genauigkeit der gangbaren, meistens durch Berzelius aufgefundenen Bestimmungen der Atomgewichte sagt, wage ich nicht zu würdigen; bemerkt werden mufs jedoch, dafs einige in der Tabelle aufgenommene von jenen bekannten des schwedischen Chemikers bedeutend abweichen, und zwar aus Gründen, die zugleich ausführlicher erörtert worden sind. Werden die früheren Bestimmungen beibehalten, so zeigen sich auch dann noch einige sehr starke Abweichungen von dem aufgestellten Gesetze, von der andern Seite aber zeigt sich dieses in vielen Fällen so ausnehmend richtig, dafs man kaum umhin kann, dasselbe als wirklich existirend anzunehmen. Wir werden aber in der Folge sehen, dafs der Annahme desselben immer noch bedeutende Schwierigkeiten entgegenstehn, und es auf jeden Fall noch zu früh seyn würde, die Atomgewichte der einfachen Körper aus ihren specifischen Wärmecapacitäten bestimmen zu wollen.

433) Für eine noch gröfsere Menge von Körpern als die so eben angegebenen hat Neumann[1] die specifischen Wärmecapacitäten bestimmt. Unter den drei hierzu anwendbaren Methoden, der Mischung, des Calorimeters und der Abkühlung, sind die beiden ersten direct, und die Anwendung des Calorimeters schien ihm vor den andern den Vorzug zu verdienen, sobald grofse Massen zu Gebote stehn; inzwischen hielt er es doch für geeigneter, sich zuvor durch die Methode der Mischung von der Zulässigkeit der indirecten Methode der Abkühlung zu überzeugen und dann zu dieser überzugehn. Bei der Genauigkeit der angestellten Versuche gewährt also diese Arbeit zugleich noch den Vortheil, beide von dem nämlichen

1 Poggendorff's Ann. XXIII. 1.

Experimentator angewandte Methoden mit einander zu vergleichen. Wir übergehn hier die Mittel, wodurch Neumann bei der Anwendung der Methode der Mischung die erforderlichen Correctionsgröfsen auffand, weil sie sich zunächst auf die von ihm gewählte eigenthümliche Verfahrungsweise beziehn, obgleich sie auch im Allgemeinen viele wichtige Belehrungen enthalten, die bei der Anstellung solcher Versuche der Beachtung sehr werth sind. Bei der Methode der Mischung wird nämlich vorausgesetzt, dafs zuerst die Temperatur des erhitzten Körpers sowohl, als auch des Wassers, worein derselbe getaucht wird, in allen Theilen ihrer Masse genau bekannt sey, dafs zweitens beide nach der Mischung zu einer durchaus gleichen und genau bestimmten Temperatur gelangen und dafs drittens für beide keine Wärme weder von aufsen hinzukomme, noch dahin abgeleitet werde. Diese Bedingungen sind jedoch schwer in gröfster Strenge zu erreichen, und die hieraus erwachsenden Fehler müssen daher nach den Umständen der Versuche corrigirt werden. Neben der Methode der Mischung wurde auch die der Abkühlung angewandt, und diese geschah nach Dulong's Angabe im luftverdünnten Raume. Das dabei gebrauchte Thermometer hatte zum Gefäfs einen Cylinder, über welchem eine messingene Scheibe mit einem Schraubengewinde an ihrem Rande festgelackt war, um einen auswärts vergoldeten hohlen messingnen Cylinder so darauf zu schrauben, dafs das Gefäfs des Thermometers sich in dessen Axe befand. Der Zwischenraum wurde mit der zu untersuchenden, sehr fein gepulverten Substanz ausgefüllt, und dann auf den hohlen messingnen Cylinder ein dünner, gleichfalls aufsen vergoldeter Deckel gesteckt, wobei die Weite des Zwischenraumes etwa 0,5 Lin. betrug. Dieser Apparat wurde in ein weites, inwendig geschwärztes, messingnes Gefäfs so gestellt, dafs er die Mitte desselben einnahm und die Thermometerscale frei hervorragte; auf das messingne Gefäfs war eine Campane luftdicht geschraubt, und es wurde dann dasselbe nebst der Campane mittelst einer Luftpumpe evacuirt. Das Erwärmen dieser Vorrichtung geschah durch Eintauchen in warmes Wasser, die Abkühlung durch Eintauchen in solches, welches die Temperatur des Zimmers hatte, und dann wurde die Zeit der Abkühlung von 10° C. bis 1°,25 Ueberschufs über die Wärme des Wassers genau gemessen. Das vorher wegen des Calibers

corrigirte[1] Thermometer war so getheilt, dafs 3,24 Theile 1° R. ausmachten, dasjenige aber, welches zum Messen der Temperatur des Wassers diente und mit jenem vorher genau verglichen war, gab auf seiner Scale 0°,2 R. an; die Beobachtung des inneren geschah mit einer Loupe, und da das Zusammenfallen der Oberfläche des Quecksilberfadens mit dem Theilstriche sich scharf unterscheiden läfst, so fand kein parallactischer Fehler statt. Der Luftdruck im Gefäfse, welcher 10 bis 20 Lin. betrug, gab ein Manometer an.

Es liegt in der Natur dieser Methode, dafs die Zeiten, binnen deren das Thermometer von einem bestimmten Ueberschusse der Temperatur über die des Wassers zu einem andern herabgeht, das Verhältnifs der Wärmecapacitäten des vergoldeten Cylinders und der in ihm enthaltenen verschiedenen Substanzen geben. Inzwischen ergab sich, dafs die nämlichen Substanzen unter gleichen Bedingungen nicht stets gleiche Resultate gaben, sondern Abweichungen zeigten, die gröfser waren, als dafs man sie aus Beobachtungsfehlern ableiten konnte. Neumann vermuthete daher, dafs sie vom Luftdrucke auf das Thermometer, hauptsächlich aber von einem Reste im Innern des evacuirten Gefäfses vorhandener Feuchtigkeit herrührten, weswegen später der evacuirte Apparat mit einer in ihm befindlichen Schale voll Chlorcalcium erst eine Nacht hindurch stehn blieb, was einen günstigen Erfolg gewährte. Demnächst war erforderlich, den Einflufs des Thermometers und des vergoldeten Cylinders zu ermitteln, welches zuerst durch die Methode der Mischung geschah, wobei die specifische Wärme des Quecksilbers = 0,033; des Glases = 0,177; des Messings = 0,093 erhalten ward, demnächst aber auf directem Wege durch Versuche, wobei der Apparat mit vier verschiedenen Körpern von bekannter Wärmecapacität gefüllt wurde, und es zeigte sich hierbei die Zulässigkeit dieses letzteren Verfahrens.

434) Sofern durch Neumann in seinen ebenso mühsamen als mit gröfster Sorgfalt angestellten Versuchen die specifischen Wärmecapacitäten der nämlichen Körper nach zwei Methoden, der der Mischung und der der Abkühlung, bestimmt wurden, ist es interessant, die Resultate beider mit einander zu vergleichen, um so mehr, als die Bestimmungen vermittelst

---

1 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 940.

der ersteren Methode theils durch Anwendung gröſserer Stücke, welche frei eingetaucht wurden, theils mit Pulver, welches in einem Gefäſse enthalten war, erhalten sind. Hierzu dient die nachfolgende Tabelle, worin jedoch bloſs die Mittelwerthe aus wenig abweichenden einzelnen enthalten sind.

| Substanzen | spec. Gewicht | Methode der Mischung | | Methode der Abkühlung |
|---|---|---|---|---|
| | | im Gefäſse | frei | |
| Schwerspath . . . | 4,429 | 0,1070 | . . . . | . . . . |
| Cölestin . . . . . . | 3,955 | . . . . | 0,1300 | . . . . |
| Anhydrit . . . . | 2,955 | 0,1854 | . . . . | 0,169 |
| Schwefelkies . . . | 5,042 | 0,1323 | 0,131 | . . . . |
| Speerkies . . . . | 4,882 | 0,1332 | . . . . | . . . . |
| Arragonit . . . . | 2,926 | 0,1966 | . . . . | . . . . |
| Kalkspath . . . . | 2,750 | 0,2015 | 0,2093 | 0,195 |
| Bitterkalkspath . . . | 2,914 | 0,2179 | . . . . | . . . . |
| Gurhofian . . . . | . . . | . . . . | 0,2168 | . . . . |
| blättriger Magnesit . . | 3,037 | 0,2270 | . . . . | . . . . |
| Spatheisenstein . . . | 3,872 | 0,1820 | . . . . | 0,183 |
| Galmei . . . . . | . . . | . . . . | 0,1712 | 0,161 |
| Rotheisenstein . . . | 5,079 | . . . . | 0,1660 | . . . . |
| Eisenglanz . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,163 |
| Bergkrystall . . . | 2,610 | 0,1894 | . . . . | . . . . |
| Schwefel . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,209 |
| Antimon . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,047 |
| Zinnober . . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,052 |
| Realgar . . . . . | 3,240 | . . . . | . . . . | 0,130 |
| rothes Quecksilberoxyd | . . . | . . . . | . . . . | 0,049 |
| Wismuthmetall . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,027 |
| grau Spieſsglanz . . | 4,603 | . . . . | 0,083 | 0,092 |
| Bleiglanz . . . . | 7,568 | . . . . | 0,044 | 0,053 |
| Blende . . . . . | 4,060 | . . . . | 0,113 | 0,112 |
| Zinkoxyd . . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,132 |
| Uranoxydul . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,106 |
| Uranpecherz . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,106 |
| Kupferoxyd . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,137 |
| Chromoxyd . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,196 |
| Zinkstein . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,090 |
| Molybden . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,102 |
| Mennig . . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,061 |
| antimonichte Säure . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,130 |
| Magnesia . . . . | . . . | . . . . | . . . . | 0,276 |

Neumann bediente sich später eines mehr vervollkommneten Apparates, und erhielt mittelst desselben noch einige Bestimmungen, die auf einen sehr hohen Grad von Genauigkeit mit Recht Ansprüche machen, hauptsächlich weil der erwärmte Apparat sehr schnell in das Wassergefäſs gebracht wurde, und daher aus dem Wärmeverluste während der früher hierzu erforderlichen längeren Zeit kein Fehler erwachsen konnte. Die Bestimmungen, welche als die Endresultate seiner Versuche zu betrachten sind, enthält die unten angehängte Tabelle.

435) Minder zahlreiche Bestimmungen der specifischen Wärme einzelner Körper sind unter andern die von E. G. Fischer[1], welcher die des reinen Kiessandes durch die Methode der Mischung aus 14 Versuchen = 0,190 fand. Von groſser Wichtigkeit ist aber ein Beitrag, welchen Rudberg[2] zur Lösung des vorliegenden Problems geliefert hat, indem er ein neues Mittel angiebt, die Wärmecapacitäten der im Wasser löslichen Salze durch diese Lösungen selbst zu bestimmen, eine *Methode*, welche als eine eigenthümliche Modification der der Mischungen zu betrachten seyn dürfte, sich aber sehr durch ihre Einfachheit empfiehlt. Es sey M die auflösende Wassermasse, T deren Temperatur, m, c, t die Masse, specifische Wärme und Temperatur der aufgelösten Salzes, die des Wassers als Einheit angenommen, $\tau$ die Temperatur der Flüssigkeit nach der Auflösung und $\lambda$ die dabei gebundene oder freiwerdende Wärme, so ist die letztere Gröſse zusammengesetzt aus der bei der Lösung des Salzes latent werdenden Wärme, aus der durch Volumensänderung sich entwickelnden und aus der durch chemische Verbindung erzeugten, falls diese statt findet. Ohne diese einzeln zu berücksichtigen ist gewiſs, daſs die Summe, sie sey positiv oder negativ, nothwendig der Salzmasse proportional und zugleich unveränderlich seyn müsse, so lange das Verhältniſs des Salzes zum Wasser nicht geändert wird. Ist also in zwei Versuchen dieses Verhältniſs constant, die Temperatur des Salzes aber ungleich, so erhält man folgende zwei Gleichungen

$$M(T-\tau)+mc\,(t-\tau)=m\lambda),$$

1 Lehrbuch der mechanischen Naturlehre. 3te Aufl. Th. I. S. 204.

2 Aus Berzelius Jahresbericht für 1834 in Poggendorff's Ann. XXXV. 474.

oder da $M = \mu m$ ist, im ersten Versuche:

$$\mu(T - \tau) + c(t - \tau) = \lambda,$$

im zweiten aber

$$\mu(T' - \tau') + c(t - \tau') = \lambda,$$

woraus $\lambda$ eliminirt, und c oder die spceifische Wärmecapacität gefunden werden kann. Rudberg theilt zwei Probeversuche mit, durch die er im Mittel die Wärmecapacität des Kochsalzes = 0,1743 und der schwefelsauren Talkerde mit Krystallwasser = 0,2906 fand, ohne hierbei gerade die schärfste Genauigkeit zu beabsichtigen.

436) Die älteren Bestimmungen der specifischen Wärme einiger zu optischen Apparaten dienender Metalle, und nicht minder auch die von Dalton angegebenen, fand R. Potter[1] so unzulässig, zugleich aber die durch Dulong und Petit erhaltenen von diesen so ungemein abweichend, daſs er sich um so mehr zu eigenen Versuchen entschloſs, als es ihm unverzeihlich schien, daſs die letzteren Gelehrten eben der bedeutenden Unterschiede wegen die von ihren Vorgängern angewandte Methode der Mischungen verlieſsen, welcher er auſser ihrer Einfachheit auch deswegen den Vorzug einräumt, weil man die Fehler leicht beseitigen kann, wenn man zuerst die heiſseren Körper in kälteres Wasser, dann aber die kälteren Körper in heiſseres Wasser taucht, und in beiden Fällen die erzeugte gemeinschaftliche Temperatur miſst. Dieses ist allerdings unbestreitbar richtig, allein wenn man die anfangs durch Potter mittelst beider Verfahrungsarten gefundenen Werthe mit einander vergleicht, so zeigt sich eine so bedeutende Abweichung unter ihnen, daſs man kaum umhin kann, entweder der Methode im Allgemeinen, oder, da diesem anderweitige Gründe entgegenstehn, der durch ihn angewandten Art des Experimentirens sein Vertrauen zu entziehn. So fand er für Stahl durch das erste Verfahren die specifische Wärme = 0,113, durch das zweite 0,200, für Spiegelmetall durch jenes 0,075, durch dieses 0,223. Später glaubte er die Fehler dadurch zu vermeiden, daſs er groſse Massen der einzutauchenden Substanz nahm, denn das Gefäſs, dessen er sich bediente, faſste nur 3500 Grains Wasser, und bei den Versuchen mit Blei tauchte

---

1 Edinburgh Journ. of Sc. N. Sér. N. IX. p. 75.

er 8000 Grains dieses Metalls in 2000 Grains Wasser. Indem er dann mit größerer Vorsicht experimentirte, auch die gebrauchten Thermometer gehörig prüfte, erhielt er genauer übereinstimmende Resultate, die in der unten angehängten Tabelle mit aufgenommen sind.

437) Noch haben wir eine der wichtigsten Arbeiten in diesem Gebiete zu erwähnen. Delarive und Marcet, deren Bemühungen um die Auffindung der specifischen Wärmecapacitäten mehrmals erwähnt worden sind, haben diese seit 1830 anhaltend fortgesetzt[1]. Sie bedienten sich dabei der durch Dulong und Petit angegebenen Methode der Abkühlung, indem sie die in geeigneten Gefäßsen eingeschlossenen Substanzen zuerst im leeren Raume, dann während des Vorbeistreichens eines eindringenden Gases oder Dampfes von niedrigerer Temperatur und bestimmter Menge erkalten ließsen, und die hierzu erforderliche Zeit maßsen. Ist dann das Verhältniß der specifischen Wärme der Gasart oder des Dampfes und der Unterschied der Geschwindigkeit des Erkaltens bekannt, so läßst sich hieraus die specifische Wärmecapacität bestimmen. Statt des von Dulong und Petit gebrauchten Cylinders von Silber nahmen sie eine hohle Kugel von Gold, ungefähr 12 Millim. im Durchmesser haltend und 3 Gramm schwer, für die tropfbaren Flüssigkeiten dagegen ein cylindrisches Gefäß von Platin, 4 Kubikcentimeter enthaltend und 4,775 Gramm schwer, oder eine hohle Kugel von Platin. Die festen Körper wandten sie als feines Pulver an, um den Fehlern zu entgehen, die daraus entspringen, daß die sämmtlichen Theile wegen schlechter Durchleitung nicht insgesammt die nämliche Temperatur haben. Der Kugel gaben sie deswegen den Vorzug, weil sich das empfindliche Meßthermometer in ihrer Mitte befand und die Wärme nach allen Seiten hin gleichmäßsig abgegeben wurde; übrigens war die Art des Experimentirens gerade so, wie die für die Gasarten angewandte, außser daß das Schlangenrohr fehlte, und daß sie die umgebende kupferne Kugel nach dem Exantliren in Eiswasser senkten, wenn sie die Zeiten des Erkaltens maßsen (§. 399). Das Thermometer gestattete seiner kleinen Kugel ungeachtet vermittelst einer Loupe das Ablesen

---

1 L'Institut. 1840. VIIIme Ann. N. 335. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 232.

von 0,05 und selbst von 0,005 eines Centesimalgrades; da es sich aber blofs um eine genaue Vergleichung handelte, so hatten sie den Punct der Scale, von wo aus sie die Erkaltung mafsen, und denjenigen, bis zu welchem das Thermometer sinken mufste, durch sehr feine Linien bezeichnet. Meistens beobachteten sie das Sinken des Thermometers nur von 15° bis zu 5°. Es versteht sich von selbst, dafs sie bei diesen Versuchen den Einflufs des Thermometers und der Kugel nicht vergafsen, deren specifische Wärmecapacitäten sie durch Vergleichung mit Kupfer bestimmten, dessen specifische Wärme = 0,095 gegen Wasser als genau aufgefunden gelten kann. Zur Berechnung bedienten sie sich der bekannten Formel. Ist c die gesuchte Wärmecapacität der Substanz, p ihr Gewicht, $c'$ die specifische Wärme des Kupfers und $p'$ dessen Gewicht, MC das Product der Masse in die Wärmecapacität der goldenen Kugel, des Glases und des Quecksilbers, welche zum Apparate gehörten, ist ferner t die Zeitdauer des Erkaltens in Secunden, wenn die Kugel mit derjenigen Substanz erfüllt ist, deren specifische Wärme c und deren Gewicht p ist, $t'$ dagegen die Zeit des Erkaltens um gleiche Grade, wenn sie mit Kupfer erfüllt ist, so hat man

$$\frac{MC + pc}{MC + p'c'} = \frac{t}{t'}, \text{ also } MC = \frac{p'c't - pct'}{t' - t},$$

worin c bekannt seyn mufs, was man finden kann, wenn MC bekannt ist.

Unter den untersuchten Substanzen, deren specifische Wärmecapacitäten in der angehängten Tabelle aufgezeichnet sind, verdient hauptsächlich der Kohlenstoff eine nähere Betrachtung, dessen specifische Wärme von den verschiedenen Beobachtern sehr abweichend angegeben wird, obgleich eine richtige Bestimmung derselben zur Prüfung des Dülong'schen Gesetzes sehr wichtig wäre. Gegen den Einflufs der Wasserdämpfe in der kupfernen Abkühlungskugel, welcher so leicht Fehler herbeiführen kann und daher nach Regnault die ganze Methode unsicher macht, glauben Delarive und Marcet sich genügend gesichert zu haben, weniger leicht schien es ihnen aber, den Einflufs des ungleichen Leitungsvermögens der untersuchten Substanzen zu beseitigen, den sie hauptsächlich auch bei der Kohle wahrzunehmen glaubten. Ihre Bestimmung der spe-

cifischen Wärme derselben = 0,165 wich bedeutend von der durch Regnault gefundenen = 0,25 ab; sie stellten daher neue Versuche mit sehr reiner, aus Candiszucker bereiteter und fest eingestampfter Kohle an, erhielten aber ein noch geringeres Resultat = 0,14. Es glückte ihnen indeſs, durch groſse Mühe und mit bedeutenden Kosten eine hinlängliche Menge Diamantstaub anzuschaffen, und ein glücklicher Zufall gestattete dann bei den Versuchen eine leichte und unmittelbare Vergleichung mit Kupfer. Die goldene Kugel mit dem Thermometer für sich wog 4,338 Gramm, mit Diamantstaub angefüllt wog sie 10,717 Gramm, mit Kupferfeilig angefüllt 12,343 Gramm. Die Erkaltung von 11° bis 3° C. dauerte beide Male 1223 Secunden. Hiernach war also in der Formel für

$$c = \frac{(MC + p'c')\frac{t}{t'} - MC}{p},$$

$t = t'$, und sie verwandelte sich daher in

$$c = \frac{p'c'}{p},$$

woraus sie $c = 0{,}1192$ erhielten. Hiernach halten sie es für fraglich, ob nicht die Ungleichheit der erhaltenen Resultate eine Folge aufgenommener Gase, namentlich des Wasserstoffs sey, welches die Kohle so begierig absorbirt, und ob die Kohle überhaupt in ihrem verschiedenen Aggregatzustande die nämliche Wärmecapacität beibehält.

438) Es war bereits wiederholt davon die Rede, daſs die Wärmecapacität der Körper nicht bei allen Temperaturen dieselbe sey. Der Erste, welcher diese Frage mehr in Anregung brachte und mit der Theorie über das Verhalten der Wärme überhaupt zu vereinigen, als durch genügende Versuche zu beantworten suchte, war Dalton[1]. Da aber die Bestimmungen der specifischen Wärme an sich zu den schwierigern Aufgaben gehören und die Unterschiede bei verschiedenen Temperaturen nicht eben groſs, also auch nicht leicht genau zu ermitteln sind, so geschah im Ganzen nicht viel zur Erledigung dieser Aufgabe. Inzwischen haben wir gesehn (§. 411), daſs Gay-

---

1 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissensch. Th. I. S. 58.

Lussac die specifische Wärme der Gase bei höheren Temperaturen gröfser fand, als bei niedrigern, in Beziehung auf tropfbare Flüssigkeiten wurde diese Frage vielfach erörtert (§. 421), als zuverlässiges Resultat, wonach allerdings beim Wasser, und somit höchst wahrscheinlich bei allen tropfbar-flüssigen Körpern, die specifische Wärme gleichfalls mit der Zunahme der Temperatur wächst, ist nur das durch Neumann gefundene zu betrachten; in weit gröfserem Umfange ist aber für feste Körper dieses eigenthümliche Gesetz genügend erwiesen worden. Dulong und Petit[1] bedienten sich hierzu der Methode der Mischungen, wählten einige nicht zu leichtflüssige Metalle, denen sie zur Gewinnung einer gröfseren Oberfläche die Form platter Ringe von 1 bis 3 Kilogramm Gewicht gaben, erhitzten sie, wenn ihre Wärme nur bis zum Siedepuncte reichen sollte, in Wasser, für höhere Temperaturen aber in Quecksilber, und wenn sie durch letzteres angegriffen wurden, in einem Bade von Oel, wobei die anhängende Flüssigkeit mit in Rechnung gebracht wurde. Die zum Eintauchen bestimmte Masse war jederzeit sehr grofs, so dafs eine Temperaturerhöhung von etwa 5° bis 6° C. über die der Umgebung erzeugt wurde; die Messung geschah mit einem Thermometer, woran sich noch 0°,01 unterscheiden liefs, und der Einflufs des sehr dünnen, auf drei Spitzen ruhenden Gefäfses von Weifsblech wurde mit in die Berechnung aufgenommen. Aufserdem war dasselbe (nach Rumford's Methode) entweder vor dem Experimente so viel kälter, als seine Temperatur nach demselben die der äufseren Umgebung übertraf, oder es hatte diese Temperatur der Umgebung gleich anfangs, und der geringe Einflufs der Strahlung ward nach derjenigen Gröfse corrigirt, welche sich aus Versuchen über die freie Erkaltung desselben ergab. Die ersten Versuche betrafen das Eisen, welches sich wegen seiner grofsen Capacität am meisten hierzu eignete. Hierbei fanden sie aus mehrmals wiederholten Versuchen im Mittel:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| die Capacität des Eisens | von | 0° | bis | 100° | C. | = 0,1098 |
| — — — — | — | 0 | — | 200 | — | = 0,1150 |
| — — — — | — | 0 | — | 300 | — | = 0,1218 |
| — — — — | — | 0 | — | 350 | — | = 0,1255. |

Auf gleiche Weise fanden sie die mittlere

1 Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 144.

| | Capacität von 0° bis 100° | Capacität von 0° bis 300° |
|---|---|---|
| für Quecksilber . . . . . | 0,0330 | 0,0350 |
| — Zink . . . . . . . . | 0,0927 | 0,1015 |
| — Antimon . . . . . | 0,0507 | 0,0549 |
| — Silber . . . . . . . | 0,0557 | 0,0611 |
| — Kupfer . . . . . . . | 0,0949 | 0,1013 |
| — Platin . . . . . . . | 0,0355 | 0,0355 |
| — Glas . . . . . . . . . | 0,1770 | 0,1900 |

Es muſs hierbei noch bemerkt werden, daſs die Temperaturen mit dem Quecksilberthermometer gemessen und nicht auf das Luftthermometer reducirt wurden[1].

Schitko[2] hat in einer ausführlichen, der Beachtung allerdings werthen Abhandlung nicht bloſs die specifischen Wärmecapacitäten der Körper, sondern die Gesammtmenge der Wärme, die sie aufnehmen, um von einer niederen Temperatur zu einer höheren überzugehen, auch mit Rücksicht auf denjenigen Antheil, der dabei gebunden wird, zu bestimmen gesucht. Die ganze Untersuchung hier zu berücksichtigen dürfte nicht zweckmäſsig seyn, denn sie führt auch dahin, die *Grade der Thermometer* nicht nach der Gröſse der Ausdehnung der jedesmaligen thermoskopischen Substanz, sondern nach der eigentlichen, hierzu erforderlichen Wärmemenge zu bestimmen. Es darf aber hier nicht unbemerkt bleiben, daſs auch aus diesen Untersuchungen eine mit den Zunahmen der Temperaturen wachsende Wärmecapacität hervorgeht. Bloſs für drei Körper, Quecksilber, Eisen und Glas, hat er folgende Tabelle berechnet.

| Temperaturen | Wärmecapacität: Quecksilber | Eisen | Glas |
|---|---|---|---|
| 0°C. . | 0,0320 | 0,1100 | 0,1740 |
| 1 . . . | 0,0320 | 0,1100 | 0,1741 |
| 20 . . . | 0,0321 | 0,1106 | 0,1750 |
| 40 . . . | 0,0322 | 0,1112 | 0,1759 |
| 60 . . . | 0,0323 | 0,1116 | 0,1766 |
| 80 . . . | 0,0323 | 0,1120 | 0,1772 |
| 100 . . . | 0,0324 | 0,1124 | 0,1778 |
| 200 . . . | 0,0326 | 0,1136 | 0,1798 |
| 300 . . . | 0,0328 | 0,1145 | 0,1811 |

1 Vergl. *Thermometer.* Bd. IX. S. 954.

2 Wiener Zeitschrift Th. VI. S. 138 ff.

Von den niedrigsten bis zu den höchsten Temperaturgraden, wie es bei keinem andern Körper möglich ist, hat Pouillet[1] die specifische Wärme des Platins bestimmt. Hierzu bediente er sich einer 178 Gramm schweren Platinkugel, die in einem Platintiegel erhitzt und schnell nach der Methode der Mischungen ins Wasser geworfen wurde. So fand er die mittlere specifische Wärme des Platins, die des Wassers = 1 gesetzt,

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| für 100° C. | = | 0,03350 | für 500° C. | = | 0,03518 |
| — 200 — | = | 0,03392 | — 600 — | = | 0,03560 |
| — 300 — | = | 0,03434 | — 700 — | = | 0,03602 |
| — 400 — | = | 0,03476 | — 800 — | = | 0,03644 |

439) Wir müssen hier noch einmal die Frage über das *Verhältniſs der specifischen Wärmecapacitäten der Körper zu ihren Atomgewichten*, die schon oft gelegentlich erwähnt wurde, zur genaueren Untersuchung bringen. Dulong und Petit waren diejenigen, welche das angegebene Gesetz (§. 426) aus ihren Versuchen mit festen Körpern ableiteten; man wandte es seitdem auch auf gasförmige und tropfbar-flüssige an und fand es bald bestätigt, bald widerlegt. Unter die, wenn nicht bedeutendsten, doch entschiedensten Gegner desselben gehört auch Potter[2], welcher es den französischen Gelehrten zum Vorwurf macht, daſs sie beim Auffinden so bedeutender Abweichungen ihrer Resultate von denen, welche ihre Vorgänger, namentlich die Engländer, erhalten hatten, nicht die von den Letzteren angewandte Methode wieder wählten, und den Grund der auffallenden Unterschiede auszumitteln suchten. Aus seinen eigenen Versuchen (§. 436) schlieſst er, daſs das aufgestellte Gesetz ganz unzulässig sey, welches Dalton bloſs bei den einfachen Gasen entdeckt und zu voreilig auf alle Körper ausgedehnt habe. Das Gesetz, wonach die Atome aller einfachen Körper gleiche Wärmecapacität haben sollen, passe zwar auffallend für Metalle, jedoch mit Ausnahme des Silbers, und könne daher nicht für ausgemacht gelten, so lange diese Ausnahme statt finde; auſserdem aber hätten Dulong und Petit diejenigen Bestimmungen der Atomgewichte gewählt, die für ihre An-

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 571. Vergl. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1014.

2 Edinburgh Journal of Science. New Ser. N. IX. p. 75.

sicht pafsten, und zugleich hätten sie von den durch Berzelius angegebenen Bestimmungen in vielen Fällen $\frac{1}{2}$, in andern $\frac{1}{3}$ und $\frac{3}{4}$ genommen. Er berechnet ferner nach dem aufgestellten Gesetze die Atomgewichte unter der Voraussetzung, dafs das Hydrogen = 1, das Ogygen aber 7 betrage, und dann zeigt sich allerdings eine grofse Menge auffallender Abweichungen, doch scheint mir diese Fundamentalbestimmung nicht geeignet, den von Potter aufgestellten Widerspruch genügend zu begründen. Gegen ihn erklärt sich James F. W. Johnston[1], macht ihm aber den ungerechten Vorwurf, dafs er die alte Methode der Mischung statt der neuen der Abkühlung gewählt habe; denn obgleich jene die ältere ist, so folgt hieraus nicht, dafs sie die schlechtere sey, vielmehr ergeben die beigebrachten Messungen, namentlich von Neumann, dafs durch dieselbe allerdings genügende Resultate zu erhalten sind, die auch Potter gefunden haben würde, wenn er die gehörige Vorsicht angewandt hätte. Dafs dieses nicht geschehen sey, geht evident aus den bedeutend abweichenden Resultaten hervor, die er durch die beiden einander entgegengesetzten Verfahrungsarten erhielt, indem er einmal das Wasser, das andere Mal den einzutauchenden Körper erhitzte. Uebrigens zeigt sich die Abweichung der durch Potter gefundenen Gröfsen von denen, die durch Dulong und Petit angegeben worden sind, nur bei Gold, Silber und Wismuth, und in dieser Beziehung bemerkt Johnston richtig, dafs die von ihm gebrauchten englischen Goldmünzen $\frac{1}{12}$ Silber oder Kupfer und die silbernen $\frac{75}{1000}$ Kupfer enthielten, wonach also die gefundenen Bestimmungen an sich zu verwerfen sind. Für Wismuth stimmen beide durch Potter gefundene Bestimmungen unter sich genau überein, es läfst sich also nicht sofort ermitteln, ob diese oder die durch Dulong und Petit gefundenen die richtigen sind[2]. In Beziehung auf den Vorwurf, dafs diese Gelehrten unrichtige Bestimmungen der Atomgewichte gewählt hätten, welcher sich auf die Autorität Dalton's stütze, macht Johnston geltend, dafs seit der Zeit dieses allerdings sehr achtungswerthen Forschers weit genauere Bestimmungen gefunden worden seyen, die von denen wenig abweichen, deren sich die

---

1 Edinburgh Journal of Science. New Ser. N. X. p. 265.

2 In der angehängten Tabelle sind die verschiedenen Werthe neben einander gestellt.

französischen Gelehrten bedienten. Ganz unzulässig sey aber das Verhältniss des Sauerstoffs zum Wasserstoff = 7 : 1, da nach Thomson[1] vielmehr 16 : 1 als der Wahrheit mindestens höchst nahe kommend gelten müsse. Endlich zeigt Johnston, dafs die durch Potter erhaltenen Wärmecapacitäten sich sehr wohl mit dem aufgestellten Gesetze vereinigen lassen, ausgenommen bei Silber, Gold und Wismuth, allein die ersten beiden Bestimmungen seyen aus den angegebenen Gründen unzuverlässig, und so dürfe auch die letztere so angesehen werden. Dieser Schluss kann aber unmöglich gelten, denn auf Wismuth passen die in Beziehung auf Gold und Silber beigebrachten Einwendungen nicht; im Ganzen ist aber das, was über die Begründung dieses Gesetzes vorgebracht wird, keineswegs befriedigend, weil keine hinlänglich scharfe und sichere Bestimmungen, weder der Atomgewichte, noch der specifischen Wärmecapacitäten, zum Grunde gelegt werden. Für die Aufgabe an sich unwichtig ist die Widerlegung, welche Potter[2] diesen ihm gemachten Einwürfen entgegensetzt, worin er seine Gegner der Unkenntnifs der Sache beschuldigt, sofern ihm entgangen sey, dafs die französischen Gelehrten keineswegs die Methode der Mischungen für unzuverlässig erklären, und dafs die gewählten Bestimmungen der Atomgewichte von Berzelius herrühren. Wichtiger dagegen ist, dafs Potter sich durch die, wenn auch nicht genügende, Kritik zu einer abermaligen, sehr ausführlichen Reihe von Versuchen bewogen fühlte, wobei er die früher gemachten Erfahrungen und die erlangte Fertigkeit des Experimentirens benutzte. Er glaubte sich überzeugt zu haben, dafs die Anwendung metallener Wassergefässe leicht zu Irrthümern führe, und er wählte daher ein inneres Gefäfs von gefirnifstem Leinen, umgab dieses dicht anschliefsend mit einer wollenen, filzartig gewebten Umgebung, und setzte es so in ein zur Aufnahme gerade hinlänglich weites irdenes Gefäfs. Die Menge des Wassers, welches dieser Apparat aufnahm, betrug ungefähr 3500 Grains. Die beiden früheren Verfahrungsarten behielt er bei, indem er entweder die Metalle bis 100° C. erwärmte und in Wasser von mittlerer Temperatur tauchte, oder die Metalle von mittlerer Temperatur, das Wasser dagegen bis ungefähr 44° C.

---

1 History of Chemistry. T. II. p. 297.

2 Edinburgh Journ. of Science. New Ser. N. XI. p. 163.

erwärmt anwandte; die Resultate stimmten so genau überein, daſs z. B. für Wismuth im Mittel aus 3 Versuchen nach dem ersten Verfahren 0,03216 und aus 3 Versuchen nach dem zweiten Verfahren 0,03260 erhalten wurde, wobei der kleinste Werth 0,0316, der gröſste aber 0,0339 betrug. Die Menge des Wassers war überhaupt gering und betrug nach der Beschaffenheit der zu untersuchenden Metalle im Maximum $\frac{1}{2}$, im Minimum $\frac{1}{8}$ vom Gewichte des eingetauchten Metalles. Lobenswerth ist endlich die öftere Wiederholung der Versuche, und die erhaltenen Resultate können daher zu den genauesten gerechnet werden, die wir über die von ihm untersuchten Metalle besitzen. Da bei diesen Versuchen vorzüglich beabsichtigt wurde, das durch Dulong und Petit aufgefundene Gesetz zu prüfen, so scheint es am zweckmäſsigsten, die mittleren Resultate nebst denen, die von diesen Gelehrten gefunden worden sind, und das Product der durch Potter gefundenen Capacitäten in die Atomgewichte, das des Sauerstoffs = 8 angenommen, neben einander zu stellen, wobei wir die von Potter gemachte Bemerkung nicht verschweigen wollen, wie es ihm aufgefallen sey, daſs Dulong und Petit nach beiden von ihnen angewandten Methoden die specifischen Wärmecapacitäten für Kupfer, Silber und Zink bis zur vierten Decimalstelle identisch fanden, was allerdings kaum im Bereiche der Möglichkeit liegt.

| Metalle | Spec. Capacitäten nach Potter | Spec. Capacitäten nach Dulong | Atom-gewichte. |
|---|---|---|---|
| Eisen . . . . | 0,113 | 0,1098 | 27,4 |
| Kupfer . . . | 0,096 | 0,0949 | 32,2 |
| Zink . . . . | 0,094 | 0,0927 | 32,9 |
| Silber . . . . | 0,059 | 0,0557 | 52,5 |
| Zinn . . . . | 0,056 | 0,0514 | 55,3 |
| Antimon . . | 0,052 | 0,0507 | 59,6 |
| Gold . . . . | 0,034 | 0,0298 | 91,1 |
| Quecksilber . | 0,033 | 0,0330 | 93,9 |
| Wismuth . . | 0,033 | 0,0288 | 93,9 |
| Blei . . . . . | 0,032 | 0,0293 | 96,8 |

440) Diese Uebersicht zeigt zuerst, daſs man die Bestimmungen der specifischen Wärmecapacitäten zu einem sehr hohen Grade der Genauigkeit bringen könne, wenn man sich durch den hierzu erforderlichen Aufwand von Mühe und Zeit nicht abschrecken läſst; denn die hier mitgetheilten, durch zwei verschiedene Methoden und von zwei Experimentatoren erhal-

tenen, Werthe stimmen sehr nahe mit einander überein und müfste einer von beiden Reihen der Vorzug zugestanden werden, so würde ich ihn unbedenklich der durch Potter gegebenen zuwenden. Wir haben hierin also zweitens eine sehr gute Grundlage, um das aufgestellte Gesetz zu prüfen. Nach Dulong's Gesetze ist das Product der specifischen Wärme in die Atomgewichte eine constante Gröfse, oder $S\,A = C$, wenn S die specifische Wärme, A das Atomgewicht und C die constante Gröfse bezeichnen (§. 426), mithin ist das Atomgewicht $A = \frac{C}{S}$. Als constante Gröfse nimmt Potter die Zahl 31 an, deren Division durch die gefundenen Wärmecapacitäten dann die in der Columne angegebenen Atomgewichte bezeichnen. Potter meint, dafs diese, mit 2 multiplicirt, den durch Berzelius gefundenen Bestimmungen der Atomgewichte sehr nahe kommen, doch giebt es einige, die fast genau um $\frac{1}{3}$ abweichen, und bei Wismuth ist keine Uebereinstimmung vorhanden. Ferner glaubt er, dafs Dulong und Petit das Quecksilber und Antimon aus ihrer ersten Tafel weggelassen hätten, weil beide mit ihrer Hypothese nicht übereinstimmten. Hieraus glaubt er folgern zu müssen, dafs das aufgestellte Gesetz, wonach also auch die Atome aller einfachen Körper genau die nämliche Wärmecapacität haben müfsten, die Prüfung nicht aushalten würde. Für Gold, Antimon, Wismuth und vielleicht auch Kupfer sey es nicht wohl pafslich, für Silber aber offenbar unzulässig; denn seine einzige Oxydationsstufe und seine Verbindung mit Chlor zeigten evident, dafs sein Atomgewicht doppelt so grofs seyn müsse, als aus dem angegebenen Gesetze folge. Hiernach glaubt Potter, dafs sich folgendes *Gesetz* wohl rechtfertigen lasse: *die Wärmemenge, welche einfache Körper abgeben, wenn sie von einer gegebenen Temperatur zu einer geringeren herabgehen, ist entweder der Zahl der Atome in ihren Massen proportional, oder steht zu dieser in einem einfachen Verhältnisse*, wobei er übrigens die grofsen Schwierigkeiten nicht verkennt, die der Feststellung irgend eines Hauptsatzes über die Atome der Körper und die ihnen eigenthümlich zugehörige Wärme im Wege stehen.

441) Eine grofse und wichtige Abhandlung über diefes Problem ist die von Avogadro[1]. Zu seinen Versuchen be-

---

1 Brugnatelli Giorn. Dec. 11. T. IX. p. 16, 85, 274, 305: Sulla

diente er sich eines cylindrischen Gefäſses von dünnem Messingblech mit einem Ringe an seinem oberen Rande, auf welchem nach zwischengelegtem geöltem Leder mittelst dreier Schrauben eine Platte festgeschraubt wurde, um jeden Zutritt der Luft oder des Wassers von auſsen abzuhalten. Dieser zur Aufnahme der zu untersuchenden Substanzen bestimmte Cylinder ward in ein gröſseres Gefäſs von Messing gesenkt, welches das zu erwärmende Wasser enthielt, dessen Wärme, gleichend der der äuſseren Luft, mittelst eines geeigneten Thermometers gemessen wurde. Es versteht sich von selbst, daſs beide Gefäſse nebst dem Thermometer, nach ihrer Wärmecapacität auf Wasser reducirt, mit in Rechnung kamen. Das mit den gepulverten und gewogenen Substanzen gefüllte Gefäſs erhielt die erforderliche Wärme durch langes Eintauchen in siedendes Wasser; das Herausnehmen desselben mit einer Pincette und das Einsenken in das Meſsgefäſs geschah zur Verhütung eines Wärmeverlustes möglichst schnell, und dann wurde die erzeugte Erwärmung des Wassers von Minute zu Minute aufgezeichnet, bis nach etwa 8 oder 10 Minuten das Maximum eintrat. Die hierdurch erhaltenen einfachen Resultate erhielten noch die erforderlichen Correctionen wegen des Wärmeverlustes des kleinen Gefäſses während der kurzen Zeit zwischen dem Herausnehmen und dem Wiedereinsenken in das Meſsgefäſs, wegen der Wärmeabgabe des letzteren an die äuſsere Umgebung und endlich wegen eines Wärmeüberschusses des kleinen Gefäſses über die Temperatur des zum Einsenken dienenden Wassers im Augenblicke, wo dieses das Maximum angenommen hatte. Die Formeln zur Correction des Wärmeverlustes durch Strahlung waren auf das *Newton'sche Gesetz* (§. 238) gegründet, inzwischen entwickelte Avogadro auch andere analytische Ausdrücke aus directen Messungen der Wärmeverluste beider Gefäſse in gegebenen Zeiten; die Resultate beider wichen aber nur um Hundertstel eines Centesimalgrades von einander ab. Endlich kam

---

densità de' corpi solidi e liquidi paragonata colla massa delle loro molecole e coi loro numeri affinitarii. Die eigentliche Abhandlung in Memorie della Società Italiana delle Scienze residente in Modena T. XX. Fasc. 2. Im Auszuge in Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 80. Vergl. Biblioteca Italiana 1816. Dec. 1817 Gennajo. Memorie della Soc. Ital. T. XIX.

noch die Sorgfalt hinzu, die Substanzen, wenn sie keine Hydrate waren, von jedem aufgenommenen Wasser frei zu halten. Die erhaltenen Resultate finden sich in der unten angehängten Tabelle, und es möge hier nur bemerkt werden, dafs Avogadro auch die specifische Wärme des Eises mindestens annäherungsweise auffand, indem er das kleine Gefäfs mit Eis füllte und die Erkältung mafs, welche es bei einigen Graden unter dem Gefrierpuncte des Wasser in dem äufseren, mit Weingeist erfüllten Gefäfse hervorbrachte, die er dann mit der Wärme verglich, welche dasselbe Gefäfs, mit einer gleichen Quantität Wasser bis auf eine gleiche Menge von Graden über 0°C. gefüllt, in dem nämlichen Weingeiste erzeugte. Das Resultat im Mittel aus mehreren Versuchen war 0,92.

442) Die Meinung Avogadro's über das Verhältnifs der Atomgewichte zu den Wärmecapacitäten klar und obendrein noch kurz anzugeben ist in der That nichts weniger als leicht, eine eigentliche Prüfung würde aber einen unverhältnifsmäfsigen Aufwand von Mühe erfordern, um zu ermitteln, ob die zahlreichen Abänderungen bestehender Bestimmungen, die er sich erlaubt, um seine Hypothesen mit sich selbst in Einklang zu bringen, mit den stöchiometrischen Gesetzen vereinbar sind. Im Wesentlichen nimmt Avogadro als erwiesen an, dafs das *Dulong'sche Gesetz*, wonach das Product der Wärmecapacitäten in die Atomgewichte der einfachen Körper eine constante Gröfse und zwar = 37,53 sey, als zuverlässig erscheine, und seine Untersuchungen beziehen sich daher zunächst nur auf die zusammengesetzten Körper. Anfangs beschränkte er sich auf die Gase, und stellte darüber das *Gesetz* auf: dafs die specifische Wärme der zusammengesetzten Gase, gleiche Volumina vorausgesetzt, durch die Quadratwurzel der ganzen oder gebrochenen Zahl der Volumina der einfachen Gase ausgedrückt werden kann, die sich zur Bildung eines Volumens des zusammengesetzten Gases vereinigen, wenn als Einheit der specifischen Wärmen die eines gleichen Volumens eines der einfachen Gase gilt. Hiernach muss also für die Kohlensäure und das Stickstoffoxydul, bei denen jedes Volumen aus einem Volumen des einen und aus einem halben Volumen des andern der zusammensetzenden Gase besteht, die specifische Wärmecapacität $= \sqrt{1,5} = 1,225$, für Kohlenoxydgas, welches aus einem halben Volumen jedes der zusammensetzenden Gase be-

steht, $= \sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}} = \sqrt{1} = 1$, die des ölerzeugenden Gases, wobei zwei Volumina des einen sich mit einem Volumen des andern verbinden, $= \sqrt{3} = 1{,}732$ seyn. In Gemäfsheit der Versuche von Dulong und Petit soll ein ähnliches, oder vielmehr ein gleiches, Gesetz auch bei festen Körpern statt finden, dafs nämlich die specifische Wärme eines Atoms eines zusammengesetzten Körpers gleich sey der Quadratwurzel aus der ganzen oder gebrochenen Zahl, welche die Atome oder deren Theile ausdrückt, die sich zur Bildung dieses zusammengesetzten Körpers vereinigen, so wie er sich entweder im festen oder tropfbaren Zustande befindet, indem man zur Einheit diejenige specifische Wärme nimmt, welche einem Atome eines der einfachen Körper in demselben Zustande angehört. Dafs die Durchführung dieses Gesetzes Schwierigkeiten habe, insbesondere da die Atome in den flüssigen und festen Körpern mit denen in gasförmigen nicht genau vergleichbar seyen, gesteht er zu, inzwischen habe ihn die Untersuchung über die Bestimmung der Atomgewichte einfacher Körper dahin geführt, mindestens wenn sie sich im Zustande der Festigkeit und der Flüssigkeit befinden, sie in Beziehung auf ihre specifische Wärmecapacität auf die Hälfte der Gröfsen zurückzuführen, die ihnen Berzelius gegeben hat, und diese sollen dann *thermische Atome* heifsen. Man begreift eigentlich nicht wohl, was hierdurch erzielt werden soll; denn da die Gröfse oder das Gewicht der Atome ohnehin nicht absolut, sondern nur relativ ist, so können auch keine verschiedenen Resultate hervorgehn, wenn man bei allen die angegebene Gröfse halbirt. Man ersieht dann aus dem Nachfolgenden, dafs ein Atom Sauerstoff oder vielmehr die Wärmecapacität eines solchen Atoms $= 0{,}375$ seyn soll, die eines Atoms Wasser als Einheit angenommen[1]; die specifische Wärme des Kohlenstoffs im festen Zustande ist aber auf diese nämliche Gröfse reducirt $= 0{,}25$, und $0{,}25 \times 0{,}764 = 0{,}191$, also sehr nahe die Hälfte von $0{,}375$. Soll also der Coefficient auch auf Kohlenstoff anwendbar seyn, so mufs der durch Dulong und Petit gefundene halbirt werden, er leidet dann auch Anwendung auf Schwefel und die Metalle, und wenn man also die thermischen Atome der festen Körper, die des Sauerstoffs

1 Es mufs bemerkt werden, dafs dieses die bereits angegebene constante Zahl nach Dulong und Petit ist.

gleichfalls in fester Gestalt als Einheit angenommen, halbirt, so erhält man die durch BERZELIUS angegebenen Gröfsen. Statt des Coefficienten 0,375 wäre also 0,1875 anzunehmen, wonach die specifische Wärme des Kohlenstoffs $= \frac{0,1875}{0,764} = 0,245$ wenig von der Erfahrung abweichend[1] gefunden wird. Um dieses noch durch einige der verschiedenen gegebenen Beispiele zu erläutern und zugleich die Anwendung des oben aufgestellten Gesetzes zu zeigen, wähle ich folgende Bestimmungen. Für das Protoxyd des Bleies, wenn das Atomgewicht des Metalles $= 6,4725$ angenommen wird, die des Sauerstoffs als Einheit vorausgesetzt, was dann die Hälfte der Bestimmung durch BERZELIUS ist, mufs das Atom des Oxydes $= 3,236 + 0,25 = 3,486$ seyn; die bestimmende Zahl hierbei ist $0,5 + 0,25 = 0,75$, daraus die Quadratwurzel 0,866 und deren Product mit $0,1875 = 0,1624$, welches durch 3,486 dividirt 0,0465 für die berechnete specifische Wärme, wenig abweichend von der beobachteten $= 0,049$ oder 0,05, giebt. Die Metalloxyde, welche nach BERZELIUS 1,5 Atom Sauerstoff auf 1 Atom Metall enthalten, haben nach AVOGADRO 0,75 Atom Sauerstoff auf 1 Atom Metall. Um drei von ihm untersuchten Körpern Genüge zu leisten, sollen ihre Atome im Zustande der Festigkeit aus $\frac{1}{4}$ Atom Metall und $\frac{3}{16}$ Atom Sauerstoff bestehn, wovon blofs die Alaunerde eine Ausnahme macht, die aus $\frac{1}{2}$ Atom Metall und $\frac{3}{8}$ Atom Sauerstoff bestehen mufs, um die Erfahrung mit der Theorie in Einklang zu bringen. Das Schwefeleisen soll aus $\frac{1}{2}$ Atom Metall und 1 Atom Schwefel bestehn, das Chlorcalcium und Chlornatrium, die nach BERZELIUS aus 2 Atomen Chlor und 1 Atom Metall bestehn, müfsten 1 Atom Chlor und 1 Atom Metall enthalten u. s. w. Die grofse, in diesen Bestimmungen herrschende, Willkür fällt von selbst in die Augen, eine allseitige genügende Prüfung der Hypothese dürfte aber auf jeden Fall hier nicht am geeigneten Orte seyn.

443) Eine weitere Ausführung dieses Gegenstandes bezieht sich vorzugsweise auf einige Resultate, welche NEUMANN aus seinen bereits erwähnten Versuchen entnommen hat, und die daher hier vorausgehen müssen. Dieser Gelehrte[2] ist der Mei-

---

1 Hierüber vergl. §. 487.

2 Poggendorff's Ann. XXIII. 32.

nung, dafs ein ähnliches Gesetz, als das durch Dulong und Petit für chemisch einfache Körper aufgestellte, auch für chemisch zusammengesetzte existire, sofern es sich um ein einfaches Verhältnifs zwischen der specifischen Wärme und der stöchiometrischen Quantität handelt. Stöchiometrische Quantitäten heifsen bei chemisch ähnlich zusammengesetzten oxydirten Körpern, z. B. bei den wasserlosen kohlensauren Salzen, solche Quantitäten, in denen eine gleiche Quantität Sauerstoff vorhanden ist; bei den mit Schwefel verbundenen Körpern ist dann der Schwefel das Mafs der stöchiometrischen Quantität. Andere Verbindungen wurden von ihm noch nicht untersucht, für die genannten aber stellt er folgendes Gesetz auf: „*es verhalten sich bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen die specifischen Wärmen umgekehrt wie die stöchiometrischen Quantitäten*, oder, was dasselbe ist, *die stöchiometrischen Quantitäten bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen besitzen gleiche Wärmecapacität.*“ Als Beispiele dienen folgende fünf kohlensaure Salze.

| Substanzen | Stöchiometrische Quantität | Specif. Wärme beob. | Producte beider | Specif. Wärme ber. | Unterschied |
|---|---|---|---|---|---|
| Kalkspath . | $\dot{Ca}\ddot{C} = 6{,}32$ | 0,2044 | 1,292 | 0,2057 | — 0,0013 |
| Bitterspath . | $\frac{\dot{Ca}\ddot{C}+\dot{Mg}\ddot{C}}{2} = 5{,}88$ | 0,2161 | 1,271 | 0,2211 | — 0,0050 |
| Magnesitspath . . . | $\frac{7\dot{Mg}\ddot{C}+2\dot{Fe}\ddot{C}}{9} = 5{,}75$ | 0,2270 | 1,305 | 0,2261 | + 0,0009 |
| Spatheisenstein . . . | $\dot{Fe}\ddot{C} = 7{,}15$ | 0,1819 | 1,300 | 0,1819 | 0,0000 |
| Galmei . . . | $\dot{Z}\ddot{C} = 7{,}79$ | 0,1712 | 1,335 | 0,1669 | + 0,0043 |
| Mittelwerth . . . . . . . . . . . | | | 1,300 | | |

In der stöchiometrischen Quantität ist die Sauerstoffmenge = 3 angenommen und mit dem Mittel aus dem Producte derselben in die beobachtete specifische Wärme = 1,3 ist nach dem angegebenen Gesetze die specifische Wärme berechnet. Die Unterschiede rühren wohl zum Theil daher, dafs die angenommene chemische Zusammensetzung nicht in ganzer Strenge statt findet, indem sich mehr oder weniger beigemengte Substanzen in den Mineralien befinden. Für wasserfreie schwefelsaure Salze dienen folgende Beispiele:

| Substanzen | Stöchiometrische Quantität | Specif. Wärme beob. | Producte beider | Specif. Wärme berechnet | Unterschied |
|---|---|---|---|---|---|
| Schwerspath | $\dot{B}a\dddot{S}$=14,58 | 0,1068 | 1,557 | 0,1061 | + 0,0007 |
| Anhydrit . . | $\dot{C}a\dddot{S}$= 8,57 | 0,1854 | 1,589 | 0,1804 | + 0,0050 |
| Cölestin . . | $\dot{S}r\dddot{S}$=11,48 | 0,1300 | 1,492 | 0,1346 | — 0,0046 |
| Mittelwerth . . . . . . . . . . | | | 1,546 | | |

Da sich unter den von Neumann untersuchten Körpern auch eine Reihe von Oxyden befindet, bei denen 1 Antheil Metall mit 1 Antheil Sauerstoff verbunden ist, so wendet er das Gesetz auch auf diese an.

| Substanzen | Stöchiometrische Quantität | Specif. Wärme beob. | Producte beider | Specif. Wärme berechnet | Unterschied |
|---|---|---|---|---|---|
| Talkerde . . | 2,58 | 0,276 | 0,712 | 0,270 | —0,006 |
| rothes Quecksilberoxyd | 13,66 | 0,049 | 0,671 | 0,051 | —0,002 |
| Zinkoxyd . | 5,03 | 0,132 | 0,664 | 0,138 | —0,006 |
| Kupferoxyd | 4,957 | 0,137 | 0,680 | 0,140 | —0,003 |
| Kalkerde[1] . | 5,36 | 0,271 | 0,772 | 0,196 | +0,021 |
| Mittelwerth . . . . . . . | | | 0,697 | | |

Als Beispiele geschwefelter Stoffe, bei denen 1 Theil Metall mit 1 Theil Schwefel verbunden ist, werden folgende zusammengestellt.

| Substanzen | Stöchiometrische Quantität | Specif. Wärme beob. | Producte beider | Specif. Wärme ber. | Unterschied |
|---|---|---|---|---|---|
| Zinnober . . | 14,66 | 0,052 | 0,762 | 0,052 | 0,000 |
| Realgar . . . | 6,71 | 0,130 | 0,872 | 0,113 | +0,017 |
| Bleiglanz . . | 14,95 | 0,053 | 0,791 | 0,051 | +0,002 |
| Blende . . . | 6,04 | 0,112 | 0,604 | 0,125 | —0,013 |
| Mittelwerth . . . . . . . . | | | 0,757 | | |

Drei untersuchte Oxyde, bei denen 2 Antheile Metall auf 3 Antheile Sauerstoff kommen, geben folgende Resultate.

1 Die Bestimmung der specif. Wärme ist von Lavoisier und Laplace.

| Substanzen | Stöchiometrische Quantität | Specif. Wärme beob. | Producte beider | Specif. Wärme berechnet | Unterschied |
|---|---|---|---|---|---|
| Eisenoxyd . | 9,78 | 0,1640 | 1,604 | 0,182 | −0,018 |
| Mennig . . . | 28,89 | 0,0616 | 1,779 | 0,0615 | +0,0001 |
| Chromoxyd. | 10,03 | 0,1960 | 1,963 | 0,177 | −0,019 |
| Mittelwerth | . . . . . . . . . |  | 1,782 |  |  |

Die überall sich zeigende, sehr genaue Uebereinstimmung der berechneten und der durch Erfahrung gefundenen Werthe läſst an der Zulässigkeit des aufgestellten Gesetzes kaum zweifeln; Neumann verspricht aber, durch weitere Untersuchungen zu ermitteln, ob dasselbe allgemeine Gültigkeit hat oder Ausnahmen zuläſst.

444) Um die über die Wärmecapacitäten aufgestellten Gesetze strenger zu prüfen, unternahm Avogadro[1] die genaue Bestimmung derselben bei drei einfachen Körpern, dem Phosphor, Arsenik und Iod, und überging hierbei das Arsenik um so weniger, als auf dieses das Dülong'sche Gesetz nach Berzelius nicht anwendbar sein soll. Beim Phosphor bediente er sich der Methode der Mischung in der Art, daſs er in einer kalten Nacht denselben bis — 8° C. erkalten lieſs und dann in Wasser von 8° C. Temperatur brachte. Aus zwei solchen Versuchen erhielt er im Mittel die specifische Wärme = 0,385; mit Anwendung der früher beschriebenen Methode erhielt er für Arsenik 0,081 und für Iod, welches er jedoch zur Vermeidung von Dampfbildung nicht bis zur Siedehitze des Wassers erwärmte, 0,082, durch ein abgeändertes Verfahren aber 0,089. Indem Avogadro mit diesen Bestimmungen die Atomgewichte dieser Körper in Einklang zu bringen sucht, gelangt er wirklich zu dem Resultate, daſs Dülong's Gesetz auch auf Arsenik paſst, und daſs nicht minder eine Uebereinstimmung zwischen den Atomgewichten dieser und einiger anderer Körper und den gefundenen Wärmecapacitäten hervorgeht, allein es sollen dann die wirklichen Atome Bruchtheile oder Vielfache derjenigen Gröſsen seyn, die durch Berzelius bestimmt worden sind. In einer weiteren Ausführung sucht er ferner zu zeigen, daſs auch die durch Neumann erhaltenen Bestimmungen, so wie das von diesem aufgestellte Gesetz, sehr wohl mit seiner eignen Hypo-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LVII. p. 113.

these harmonire, und wirklich stimmen auch die von ihm gefundenen Gröſsen ziemlich nahe mit den durch Erfahrung ermittelten überein, allein die Unterschiede sind doch immer noch gröſser, als sie billig seyn sollten, um eigentliches Vertrauen zu der aufgestellten Hypothese zu erwecken, und auſserdem ist die Theilung und die Vervielfachung der Atome, sofern diese vervielfachten wieder als einfach Verbindungen eingehn sollen, eine Voraussetzung, die zuvor einer genauen und eingreifenden Prüfung bedürfte. Um die Grenze der Uebereinstimmung zwischen den durch Beobachtung und Berechnung gefundenen Werthen genauer zu bezeichnen, möge die eine Reihe der Zusammenstellungen dienen.

| Substanzen | Specifische Wärme beob-achtet | berech-net | Unter-schied |
|---|---|---|---|
| kohlensaurer Kalk . . . . . . . . . . | 0,2011 | 0,2058 | +0,0047 |
| — Eisen . . . . . . . . | 0,1819 | 0,1818 | −0,0001 |
| — Zink . . . . . . . . . | 0,1712 | 0,1668 | −0,0044 |
| — Baryt . . . . . . . . . . | 0,1078 | 0,1055 | −0,0023 |
| — Strontian . . . . . . . | 0,1445 | 0,1408 | −0,0037 |
| — Blei . . . . . . . . . . | 0,0814 | 0,0778 | −0,0036 |
| — Kalk und Magnesia . | 0,2161 | 0,2230 | +0,0069 |
| — Magnesia und Eisen | 0,2270 | 0,2264 | −0,0006 |

Eine eigentliche Entscheidung über die Zulässigkeit der Hypothese muſs denen überlassen bleiben, die mit der Aufgabe im Ganzen innig vertraut sind.

445) Handelt es sich endlich um eine definitive Feststellung des Verhältnisses zwischen den Wärmecapacitäten und den Atomgewichten der Körper, so muſs man sich vorerst wohl noch auf das durch Dulong und Petit aufgestellte *Gesetz* beschränken, wonach bei einfachen Körpern das Product der specifischen Wärmecapacitäten in die Atomgewichte eine constante Gröſse, also $SA = C$ seyn soll, wenn S die specifischen Wärmecapacitäten, A die Atomgewichte oder die relativen Gröſsen der Atome bezeichnen und C eine durch die Multiplication beider hervorgehende beständige Gröſse ist. Letztere ist aus den anfänglichen Versuchen, die zur Aufstellung des genannten Gesetzes Veranlassung gaben, im Mittel = 0,3753 angenommen worden; sie könnte auch eine andere seyn, die im Mittel aus der Gesammtsumme der durch genaue Versuche gefundenen specifi-

schen Wärmecapacitäten aller einfacher Körper und ihrer genügend festgestellten Atomgewichte hervorginge; es dürften sich allerdings Abweichungen zeigen, da selten das Resultat irgend eines Versuches für absolut genau gelten kann, allein die Unterschiede dürften nicht so grofs sein, dafs sie die wahrscheinlichen Fehlergrenzen überstiegen. Aus den vorausgehenden ausführlicheren Mittheilungen der vorzüglichsten Untersuchungen dieses Problems geht hervor, dafs dieses Gesetz von vielen vertheidigt wird, zu denen namentlich auch Bredow[1] gehört, von anderen aber angefochten. Für die Metalle soll dasselbe, mit Ausnahme des Antimons und Arseniks, gültig sein, und eigentlich ist auch nur für jene die angegebene beständige Gröfse = 0,3753 durch Dulong und Petit festgesetzt worden.

446) Kommen zuerst die *Gase* in Betrachtung, so sind zwar die für die drei einfachen unter ihnen, das Sauerstoffgas, Stickgas und das Wasserstoffgas, von den verschiedenen Experimentatoren gefundenen Wärmecapacitäten nicht absolut gleich, allein wenn man die grofsen Schwierigkeiten berücksichtigt, denen diese Versuche unterliegen, so darf man wohl die Abweichungen als Folgen unvermeidlicher Beobachtungsfehler betrachten. Dieses vorausgesetzt geben gleiche Volumina derselben unter gleichem Drucke gleiche Wärmemengen, wie aus der Uebereinstimmung der durch die sorgfältigsten Messungen erhaltenen Resultate hervorgeht, und da ihre Dichtigkeiten sich umgekehrt verhalten, wie ihre Volumina, und direct wie ihre Atomgewichte, so geht das aufgestellte Gesetz hieraus von selbst hervor. Dieses ist daher auch die Ansicht von Delarive und Marcet[2], welche durch ihre neuesten Versuche die Thatsache bestätigt fanden, dafs gleiche Volumina der einfachen Gase unter gleichem Drucke gleiche specifische Wärme haben, und nicht minder ist dieses bei solchen zusammengesetzten der Fall, die bei ihrer Verbindung das Volumen nicht ändern, z. B. bei atmosphärischer Luft. Auf andere zusammengesetzte Gase aber, als namentlich ölerzeugendes Gas und Kohlensäure, leidet dieses Gesetz keine Anwendung. Im Ganzen, bemerken diese Gelehrten, dürfe man sich nicht auf die Gase allein beschränken, wenn

---

1 Ueber das Verhältnifs d. specif. Wärme zum chemischen Mischungsgewicht. Berl. 1838.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 113.

man das Verhältniſs der specifischen Wärmecapacitäten zu den Atomgewichten, hauptsächlich mit Rücksicht auf den Aggregatzustand der durch sie gebildeten Körper, den gasförmigen, tropfbar-flüssigen und starren, aufzufinden suche; es sey die Zahl der einfachen gasförmigen zu gering, als daſs man hierauf allein ein physikalisches Gesetz bauen könne. Wenn aber auch das Gesetz bei den einfachen Gasen den vorhandenen Erfahrungen gemäſs als zulässig erscheinen muſs, so darf dabei nicht übersehn werden, daſs diese sämmtlich den nämlichen Aggregatzustand nicht bloſs haben, sondern auch, soweit es diese Aufgabe betrifft, unverändert beibehalten. Ganz anders aber verhält sich die Sache, wenn solche Körper in Betrachtung kommen, die ihren Aggregatzustand ändern, wie Poggendorff[1] sehr richtig bemerkt hat. Zuerst ändert sich namentlich bei starren Körpern, für welche das Gesetz ursprünglich aufgestellt ist, das Verhältniſs ihrer Wärmecapacitäten mit der Temperatur, während das ihrer Atomgewichte beständig bleibt. Zweitens aber haben alle Gase eine gleiche Ausdehnung durch Wärme, das aufgefundene Gesetz muſs daher für sie bei allen Temperaturen gültig seyn, wenn es für eine einzige erwiesen ist, in Beziehung auf starre Körper könnte dieses aber nur statt finden, wenn das Verhältniſs zwischen ihren Dichtigkeiten im starren und im gasigen Zusande dasselbe wäre. Daſs Letzteres nicht der Fall sey, beweisen unter andern die specifischen Gewichte des Iods und des Quecksilbers in diesen beiden Zuständen, und überhaupt giebt es mehrere einfache Körper, welche beim Uebergange aus dem starren in den gasigen Aggregatzustand ihr Volumen auf sehr ungleiche Weise ändern. Poggendorff hält es aber für entschieden, und darin wird man ihm wohl allgemein beistimmen, daſs eine Volumenverschiedenheit mit einer entsprechenden Verschiedenheit der specifischen Wärmecapacitäten verbunden sey, und daſs daher die specifischen Wärmecapacitäten zweier Körper, die für den gasförmigen Zustand gleich sind, für den starren nur Multipla von einander seyn können; die Wärmecapacitäten müssen daher für gleiche Aggregatzustände der Körper durch die Erfahrung aufgefunden und mit einander verglichen werden, können aber den Chemikern nicht als sicheres Mittel zur Bestimmung der Atomgewichte dienen.

---

1 Dessen Annalen Th. XIX. S. 125. Anm.

Vor allen Dingen ist erforderlich, die Gröfsen der Atomgewichte möglichst genau festzustellen, eine Aufgabe, die noch nicht mit absoluter Vollständigkeit gelöst zu seyn scheint. Nicht minder wichtig ist eine genaue Bestimmung der specifischen Wärmecapacitäten, weswegen auch Delarive und Marcet, deren bedeutende Leistungen in diesem Gebiete oft mit gebührendem Beifalle erwähnt worden sind, sich zum Ziele gesetzt haben, diese für eine möglichst grofse Menge einfacher und zusammengesetzter Körper aufzufinden. Dafs nach dem, was bis jetzt in dieser Beziehung geleistet wurde, das durch Dulong und Petit aufgestelle Gesetz für die einfachen Gase allerdings gültig sey und zugleich auf eine grofse Zahl einfacher fester Körper Anwendung leide, auf andere aber aus noch unbekannten Gründen nicht passe, ist bereits oben[1] erwähnt worden, und wir fügen daher, aufser dem, was gelegentlich bei der Mittheilung der einzelnen Versuche erwähnt wurde, nur noch dasjenige hinzu, was neuerdings durch Marcet und Delarive[2] in Beziehung auf dieses Problem geschehn ist. Sie bestimmten unter andern die Wärmecapacitäten des Cadmium, Selen, Molybdän und Scheel, und fanden ihre Resultate mit dem Dülong'schen Gesetze sehr wohl übereinstimmend, wozu der Umstand viel beitrug, dafs die gebrauchten Substanzen sehr rein waren, weil namentlich die Anwesenheit einer auch nur kleinen Quantität Kohle einen bedeutenden Einflufs hat. Wie wichtig dieses sey, zeigt unter andern das Kobalt, wofür Dulong und Petit die Wärmecapacität = 0,1498 fanden, die sie mit ihrem Gesetze für unvereinbar hielten, statt dafs Delarive und Marcet 0,1172 erhielten; jene Physiker glaubten daher das Atomgewicht desselben = 246 annehmen zu müssen, statt dafs diese dasselbe = 369 bestimmen[3]. Vor allen andern

1 S. Art. *Verwandtschaft.* Bd. IX. S. 1896.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 116.

3 Für die Behauptung, dafs weder die Atomgewichte, noch die specifischen Wärmecapacitäten bis jetzt mit gehöriger Sicherheit fest bestimmt sind, zeugt dieses Beispiel. Die Angabe von Dulong und Petit = 246 ist die geringste; oben Th. IX. S. 1898 wird 296 angenommen, und dann giebt die Multiplication mit der neuen Bestimmung der specifischen Wärme = 0,1172 sehr annähernd das Product beider = 0,3469. Delarive und Marcet aber sagen, dafs alle Physiker das Atomgewicht = 369 oder, was einerlei ist, = 36,9 an-

ist die specifische Wärme der Kohle mit dem aufgestellten Gesetze nicht in Einklang zu bringen, denn sie müſste in diesem Falle dreimal gröſser seyn, als 0,165 und dennoch zeigen die oben (§. 437) erwähnten Bemühungen von Delarive und Marcet, daſs die des Diamant nur 0,1192 beträgt, die möglichen Fehler aber bloſs dazu führen können, die Wärmecapacität zu vergröſsern; sie glauben daher, das Atomgewicht der Kohle möge wohl unrecht bestimmt seyn, weil man den Kohlenstoff nicht in seiner einfachsten Gestalt als Gas darzustellen vermöge. Nach allem diesen halten sich also die genannten Gelehrten für berechtigt anzunehmen: 1) daſs die einfachen und einige zusammengesetzte Gase bei gleichem Volumen gleiche Wärmecapacitäten haben, andere zusammengesetzte aber hiervon abweichen; 2) daſs die festen Körper, sobald ihre Wärmecapacitäten nur richtig bestimmt sind, allerdings das Dülong'sche Gesetz bestätigen, mit Ausnahme der Kohle, die sich auf keine Weise damit vereinigen läſst, sobald man von denjenigen Bestimmungen ausgeht, die hierüber bis jetzt bekannt sind.

447) In Beziehung auf zusammengesetzte Körper ist bisher noch zu wenig geschehn, als daſs man wagen dürfte, hierüber allgemeine Gesetze aufzustellen, wozu ohnehin eine zu genaue Kenntniſs des chemischen Verhaltens der verschiedenen Combinationen gehört, als daſs ich einen Versuch dieser Art wagen dürfte, und ich begnüge mich daher nur auf dasjenige zu verweisen, was durch Neumann geleistet (§. 443) und was hierüber an einem andern Orte[1] gesagt worden ist. Auch Delarive und Marcet sind der Meinung, daſs das Gesetz über das Verhältniſs der Wärmecapacitäten zu den Atomgewichten zusammengesetzter Körper, hauptsächlich wenn man dabei den verschiedenen Zustand der Gasform, der tropfbaren Flüssigkeit und der Starrheit berücksichtigen wollte, erst noch gefunden werden müsse.

448) Noch müssen wir mit wenigen Worten einen schätzbaren Beitrag zur Lehre der Wärmecapacität erwähnen, welchen wir dem Scharfsinne und der experimentellen Fertigkeit

---

nehmen; dann aber giebt das Product mit 0,1172 die Gröſse 0,4325, mit Dulong's Gesetze nicht übereinstimmend.

1 S. Art. *Verwandtschaft*. Bd. IX. S. 1941.

W. Weber's[1] verdanken. Die Bestimmung der Wärmecapacitäten findet bei allen Körpern unter der Bedingung statt, daſs sich ihr Volumen nicht weiter ändert, als durch die Ungleichheit der bei den Versuchen unnachläſslichen Temperaturen nothwendig bedingt ist. Bekanntlich wird aber durch mechanische Zusammendrückung der Gase eine bedeutende Temperaturerhöhung, wie durch Ausdehnung eine Temperaturverminderung erzeugt; wir haben es indeſs angemessen gefunden (§. 412), die specifischen Wärmecapacitäten ohne Rücksicht auf die durch Volumensveränderung frei oder latent werdende Wärme zu untersuchen, weil alsdann mehr Uebereinstimmung in diese Aufgabe gebracht wird und von den durch Volumensänderung erzeugten Wärmephänomenen bereits oben (§. 101 fg.) gehandelt wurde. Interessant ist aber, daſs nach Weber's Versuchen auch bei Metallen, namentlich bei Eisen, Kupfer, Silber und Platin, die von ihm einzeln untersucht wurden, und diesemnach ohne Zweifel bei allen, die durch Ausdehnung oder Zusammendrückung derselben latent oder frei werdende Wärme eine Folge ihrer Volumensänderung, nicht aber der Reibung ihrer Theile ist. Hierbei ist selbst die durch das Experiment erlangte Gewiſsheit der Thatsache von Wichtigkeit; denn daſs durch Zusammendrückung fester Körper Wärme entbunden werde, unterlag zwar keinem Zweifel, nicht aber auf gleiche Weise das Latentwerden derselben durch Ausdehnung, vielmehr konnte das Gegentheil aus der Erfahrung gefolgert werden, daſs ein Metalldraht, wenn man ihn wiederholt bis zum Zerreiſsen schnell hin und zurück biegt, an der Bruchstelle bedeutend erhitzt wird; auch hat Berzelius erwähnt, daſs ein Streifen Federharz, wenn man ihn an die Lippe anlegt und schnell ausdehnt, warm zu werden scheine, was jedoch beides eine Folge der Reibung der Theile ist. Weber's Versuche sind dagegen völlig entscheidend. Er spannte Saiten aus, bewirkte durch sinnreiche Vorrichtungen, daſs sie sich ausdehnten und zusammenzogen, maſs vermittelst der Zahl ihrer Schallschwingungen die hierdurch gebundene oder frei gewordene Wärme, und fand, daſs von letzterer eine gleiche Menge durch Verminderung des Volumens frei, als durch Vermehrung desselben gebunden wird. Da aber in beiden Fällen die Reibung ihrer Theile gleich ist,

---

1 Poggendorff's Ann. XX. 177.

so konnten durch diese, als gleiche Ursachen, keine entgegengesetzte Wirkungen, Wärmebindung und Entbindung, und obendrein beide in gleichen Quantitäten, hervorgebracht werden. Hierdurch ist also nicht bloſs der Satz erwiesen, daſs die *Volumensveränderung* fester Körper an sich, so wie die der Gase, Wärme erzeugt und bindet, sondern es können auch bei beiden Classen von Körpern die specifischen Wärmecapacitäten bei constantem Drucke und bei constantem Volumen unterschieden werden.

449) Da man der specifischen Wärmecapacitäten zu manchen Untersuchungen bedarf, so veranlaſste dieses schon früh eine tabellarische Zusammenstellung der gefundenen Bestimmungen. Der erste, welcher eine solche Tabelle verfertigte, war Kirwan; er gab sie seinem Freunde Magellan[1], und dieser machte sie bekannt. Wilke[2] theilt gleichfalls eine Zusammenstellung vieler Bestimmungen mit, allein es sind darin nur die von ihm selbst gefundenen Werthe enthalten. Vollständiger ist daher die durch Torb. Bergmann[3] verfertigte Tabelle, die, durch Baader[4] aufgenommen, allgemeinere Bekanntschaft erhielt. Eine durch viele eigene Versuche vermehrte machte Gadolin[5] bekannt, und da die Zahl der Bestimmungen durch Crawford's spätere Versuche, hauptsächlich aber durch Lavoisier und Laplace bedeutend vermehrt worden war, konnten die Tabellen nicht bloſs vollständiger, sondern hauptsächlich auch richtiger werden. Die zahlreichsten und werthvollsten Bestimmungen verdanken wir indeſs dem jetzigen Jahrhunderte, wie aus der gegebenen Uebersicht der wichtigsten einzelnen Leistungen hervorgeht. Die in der alten Auflage dieses Wörterbuchs enthaltene, aus der ersten Auflage von Gren's Grundriſs der Naturlehre entnommene, Tabelle ist daher noch sehr mangelhaft, ungleich vollständiger ist die durch Murray[6] zusammengestellte, von Herschel[7] aufgenommene; die voll-

1 Essay sur la nouvelle Théorie du feu élémentaire 1780.

2 Schwed. Abhandl. 1781. Journ. de Phys. T. XXVI. p. 256 u. 381.

3 Opusc. T. III. p. 434.

4 Vom Wärmestoff. Wien u. Leipz. 1786. 4.

5 De theoria caloris corporum specifici. Aboe 1784.

6 Chemistry. T. I. p. 420.

7 Encyclopaedia metropolitana. art. Heat. p. 338.

ständigste, mir bekannt gewordene, ist die von BAUMGARTNER[1]. In der nachfolgenden sind, wie dieses schon vorher zu geschehn pflegte, die Bestimmungen der verschiedenen Experimentatoren neben einander gestellt worden; auch darf kaum bemerkt werden, dafs alle auf Wasser als Einheit bezogen sind. Zur Bequemlichkeit ist, wie bei allen ähnlichen Tabellen, die alphabetische Ordnung gewählt, und um das Auffinden zu erleichtern, sind die gasförmigen Körper, die tropfbarflüssigen und die starren von einander geschieden.

| Gase | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| Atmosphärische Luft . . | 1,79 | CRAWFORD |
| | 0,33 | LAVOISIER und LAPLACE |
| | 0,25 | CLEMENT und DESORMES |
| | 0,2669 | DELAROCHE und BÉRARD |
| | 0,7670 | APJOHN |
| | 0,3046 | SUERMAN |
| | 0,2835 | |
| Ammoniakgas . . . . . . | 0,4523 | DELARIVE und MARCET |
| Cyangas . . . . . . . . | 0,1478 | DELARIVE und MARCET |
| Kohlenoxydgas . . . . . | 0,2884 | DELAROCHE und BÉRARD |
| | 0,2745 | DELARIVE und MARCET |
| | 0,4203 | |
| | 0,2736 | APJOHN |
| | 0,2750 | DULONG |
| | 0,3123 | SUERMAN |
| Kohlensaures Gas . . . | 1,045 | CRAWFORD |
| | 0,24 | CLEMENT und DESORMES |
| | 0,2210 | DELAROCHE und BÉRARD |
| | 0,1751 | MARCET und DELARIVE |
| | 0,2094 | APJOHN |
| | 0,2057 | DULONG |
| | 0,2124 | SUERMAN |
| Oelerzeugendes Gas . . | 0,4207 | DELAROCHE und BÉRARD |
| | 0,2745 | DELARIVE und MARCET |
| | 0,2140 | |
| | 0,4204 | DULONG |
| Salpetersaures Gas . . . | 0,0840 | DELARIVE und MARCET |

1 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande. Supplementband. Wien 1831. S. 1030. Aufserdem finden sich Tabellen in KLAPROTH's und WOLF's chemischem Wörterbuch Th. V. S. 437, in GMELIN's Handbuche d. Chemie Th. I. S. 114 u. s. w.

| Gase | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| Salzsaures Gas . . . . | 0,2094 | Delarive und Marcet |
| Sauerstoffgas . . . . . | 4,749 | Crawford |
| | 0,650 | Lavoisier und Laplace |
| | 0,2361 | Delaroche und Bérard |
| | 0,2422 | Delarive und Marcet |
| | 0,1953 | Apjohn |
| | 0,2420 | Dulong |
| | 0,2750 | Suerman |
| Schwefelwasserstoffgas . . | 0,2264 | Delarive und Marcet |
| Schweflige Säure . . . | 0,1200 | Delarive und Marcet |
| Stickstoffgas . . . . . | 0,7930 | Crawford |
| | 0,2754 | Delaroche und Bérard |
| | 0,2752 | Delarive und Marcet |
| | 0,2899 | Apjohn |
| | 0,3135 | Suerman |
| Stickstoffoxydul . . . . | 0,2369 | Delaroche und Bérard |
| | 0,1750 | Delarive und Marcet |
| | 0,2085 | Apjohn |
| | 0,2030 | Dulong |
| | 0,2240 | Suerman |
| Stickstoffoxyd . . . . | 0,2566 | Delarive und Marcet |
| Wasserstoffgas . . . . | 21,40 | Crawford |
| | 2,40 | Clement und Desormes |
| | 3,2936 | Delaroche und Bérard |
| | 3,8794 | Delarive und Marcet |
| | 5,6629 | Apjohn |
| | 3,8793 | Dulong |
| | 6,1892 | Suerman |
| Wasserdampf . . . . . . | 0,8470 | Delaroche und Bérard |
| Flüssigkeiten. | | |
| Alaunlösung (1 Th. S. 2,9 Th. W.) | 0,649 | Kirwan |
| Alaunlösung (1 Th. S. 4,45 Th. W.) | 0,649 | Kirwan |
| Alkohol . . . . . . . | 1,0860 | Kirwan |
| | 0,9300 | Irvine |
| | 0,6666 | Crawford |
| | 0,6021 | Crawford |
| | 0,6400 | Leslie |
| (spec. Gew. 0,793) | 0,622 | Despretz |
| ( — — 0,817) | 0,700 | Dalton |
| ( — — 0,848) | 0,760 | Dalton |
| ( — — 0,818) | 0,4599 | Rumford |
| ( — — 0,853) | 0,5808 | Rumford |
| | 0,6320 | Delarive und Marcet |
| Ammoniak (spec. Gew. 0,948) | 1,03 | Dalton |
| ( — — 0,997) | 0,708 | Kirwan |

| Flüssigkeiten | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| Ammoniak, kohlensaures . | 0,950 | Dalton |
| Blut, arterielles . . . . . | 1,03 | Crawford |
| venöses . . . . . . | 0,8928 | Crawford |
| Brom . . . . . . . . | 0,1350 | Delarive und Marcet |
| Essig . . . . . . . . | 0,92 | Dalton |
| | 0,970 | Mayer |
| aus Wein . . . | 0,387 | Kirwan |
| destillirter . . . | 0,1030 | Kirwan |
| Essigsäure . . . . . . . . | 0,66 | Dalton |
| Iod-Kali-Wasserstoff (Faraday's Flüssigkeit). . | 0,475 | Delarive und Marcet |
| Kalilösung . . . . . . . | 0,75 | Dalton |
| kohlensaure . . | 0,759 | Kirwan |
| Kochsalzlösung (spec. Gew. 1,120) . | 0,8473 | Bischof |
| (spec. Gew. 1,197) | 0,78 | Dalton |
| (1 Th. S. 8 Th. W.) | 0,832 | Kirwan |
| (1 Th. S. 10 Th. W.) | 0,936 | Gadolin |
| (1 Th. S. 5 Th. W.) | 0,868 | Gadolin |
| (1 Th. S. 3,33 Th. W.) | 0,8208 | Gadolin |
| (1 Th. S. 2,8 Th. W.) | 0,8020 | Gadolin |
| (1 Th. S. 2,66 Th. W.) | 0,7930 | Gadolin |
| Leinöl . . . . . . . . | 0,528 | Kirwan |
| | 0,570 | Mayer |
| Milch (Kuhmilch) . . . | 0,9999 | Crawford |
| | 0,98 | Dalton |
| Naphthaöl . . . . . . . | 0,4152 | Rumford |
| | 0,4930 | Delarive und Marcet |
| Olivenöl . . . . . . . | 0,7100 | Kirwan |
| | 0,5000 | Leslie |
| | 0,4385 | Rumford |
| | 0,3096 | Lavoisier und Laplace |
| | 0,504 | Delarive und Marcet |
| Quecksilber . . . . . | 0,020 | Wilke |
| | 0,033 | Kirwan |
| | 0,0280 | Irvine |
| | 0,0357 | Crawford |
| | 0,029 | Lavoisier und Laplace |
| | 0,040 | Dalton |
| | 0,0469 | Dalton |
| | 0,0330 | Potter |
| | 0,0330 | Dulong und Petit |
| | 0,0330 | Neumann |
| | 0,0333 | Regnault |

| Flüssigkeiten | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| | 0,0318 | Delarive und Marcet |
| | 0,0322 | Schitko |
| Rübsamenöl . . . . . | 0,4519 | Rumford |
| Salpeterlösung (1 Th. S. 3 Th. W.) . | 0,646 | Kirwan |
| (1 Th. S. 8 Th. W.) | 0,8167 | Lavoisier und Laplace |
| Salpetersäure . . . . . | 0,844 | Gadolin |
| (spec. Gew. 1,2) . | 0,76 | Dalton |
| (spec. Gew. 1,3) . | 0,68 | Dalton |
| (spec. Gew. 1,3) . | 0,62 | Leslie |
| | 0,6614 | Lavoisier und Laplace |
| (spec. Gew. 1,355) | 0,576 | Kirwan |
| (spec. Gew. 1,36) | 0,63 | Dalton |
| (1 Th. S. 9,33 Th. W.) . . | 0,6189 | Lavoisier und Laplace |
| Salzsäure (spec. Gewicht 1,122) . . | 0,680 | Kirwan |
| (spec. Gew. 1,153) . | 0,600 | Dalton |
| (spec. Gew. 1,152) . | 0,735 | Ure |
| (spec. Gew. 1,192) . | 0,586 | Ure |
| Salzs. Ammoniak (1 Th. S. 5 Th. W.) . | 0,798 | Kirwan |
| Salzs. Kalk (spec. Gew. 1,4) | 0,620 | Dalton |
| Schwefeläther . . . . . | 0,550 | Delarive und Marcet |
| (spec. Gew. 0,715) . | 0,520 | Despretz |
| (spec. Gew. 0,872) . | 0,462 | Despretz |
| (spec. Gew. 0,76) . | 0,660 | Dalton |
| (spec. Gew. 0,793) . | 0,622 | Dalton |
| (spec. Gew. 0,817) . | 0,700 | Dalton |
| (spec. Gew. 0,729) . | 0,5433 | Rumford |
| Schwefelkohlenstoff . . | 0,3290 | Delarive und Marcet |
| Schwefelsäure . . . . | 0,418 | Ure |
| | 0,364 | Ure |
| Schwefelsäure - Vitriolöl . | 0,350 | Irvine |
| farblose . . | 0,758 | Kirwan |
| concentrirte . | 0,339 | Gadolin |
| concentrirte . | 0,349 | Delarive und Marcet |
| (spec. Gew. 1,872) . | 0,429 | Kirwan |
| | 0,340 | Leslie |
| (spec. Gew. 1,844) . | 0,350 | Dalton |
| (spec. Gew. 1,871) . | 0,3346 | Lavoisier und Laplace |
| (1 Vol. S. 1 Vol. W.) | 0,52 | Dalton |
| (4 Th. S. 3 Th. W.) | 0,6031 | Lavoisier und Laplace |
| (4 Th. S. 5 Th. W.) | 0,6631 | Lavoisier und Laplace |

| Flüssigkeiten | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| Schwefelsäure (1 Th. S. 0,25 Th. W.) . . | 0,442 | Gadolin |
| (1 Th. S. 0,5 Th. W.) . . | 0,500 | Gadolin |
| (1 Th. S. 1 Th. W.) | 0,605 | Gadolin |
| (1 Th. S. 2 Th. W.) | 0,749 | Gadolin |
| (1 Th. S. 5 Th. W.) | 0,876 | Gadolin |
| (1 Th. S. 10 Th. W.) . . | 0,925 | Gadolin |
| Schwefelsaures Ammoniak . | 0,9941 | Kirwan |
| Schwefels. Eisen (1 Th. S. 2,5 W.) . . | 0,734 | Kirwan |
| Schwefels. Magnesia (1 Th. S. 2 Th. W.) . . | 0,844 | Kirwan |
| Schwefels. Natron (1 Th. S. 2,9 Th. W.) . | 0,728 | Kirwan |
| (1 Th. S. 6,4 Th. W.) . . | 0,905 | Gadolin |
| Spermaceti, geschmolzen . | 0,320 | Irvine |
| Spermacetiöl . . . . | 0,399 | Kirwan |
| | 0,500 | Crawford |
| | 0,520 | Dalton |
| (spec. Gew. 0,915) | 0,597<br>0,513 | Ure |
| Terpentinspiritus . . . | 0,472 | Kirwan |
| | 0,400<br>0,462 | Irvine |
| | 0,3386 | Rumford |
| | 0,488 | Delarive und Marcet |
| (spec. Gew. 0,875) | 0,545<br>0,472 | Ure |
| | 0,4209 | Regnault |
| Wasser . . . . . . . | 1,000 | |
| Weinsteinlösung (1 Th. S. 337,3 Th. W.) | 0,765 | Kirwan |
| Zuckerlösung . . . . . | 1,086 | Kirwan |
| (spec. Gew. 1,17) | 0,770 | Dalton |

| Feste Körper | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| Achat . . . . . . . . | 0,1950 | WILKE |
| Anhydrit . . . . . . . | 0,1854 | NEUMANN |
| | 0,1690 | NEUMANN |
| Antimon . . . . . . . | 0,086 | KIRWAN |
| | 0,063 | WILKE |
| | 0,0645 | CRAWFORD |
| | 0,06 | DALTON |
| | 0,052 | POTTER |
| | 0,0507 | DULONG und PETIT |
| | 0,0508 | REGNAULT |
| | 0,0470 | NEUMANN |
| Antimonige Säure . . . | 0,130 | NEUMANN |
| Antimonoxyd . . . . . | 0,220 | KIRWAN |
| | 0,2272 | CRAWFORD |
| frei von Luft . . | 0,1666 | CRAWFORD |
| Apfelbaumholz . . . . | 0,57 | MAYER |
| Arragonit . . . . . . | 0,1699 | NEUMANN |
| Arsenik . . . . . . . | 0,0814 | REGNAULT |
| | 0,081 | AVOGADRO |
| Arsenikoxyd . . . . . | 0,126 | GADOLIN |
| Arseniksäure . . . . . | 0,1309 | DELARIVE und MARCET |
| glasige . . . | 0,1320 | DELARIVE und MARCET |
| Arseniksublimat . . . . | 0,0840 | GADOLIN |
| | 0,081 | AVOGADRO |
| Asche . . . . . . . . | 0,1923 | CRAWFORD |
| von Ulmenholz . | 0,1402 | CRAWFORD |
| — Holzkohlen . | 0,0909 | CRAWFORD |
| — Schmiedekohlen | 0,1855 | CRAWFORD |
| Baryt, kohlensaurer . . . | 0,1078 | NEUMANN |
| Bergkrystall . . . . . | 0,1894 | NEUMANN |
| Birkenholz . . . . . . | 0,48 | MAYER |
| Birnbaumholz . . . . . | 0,500 | MAYER |
| Bitterkalkspath . . . . | 0,2161 | NEUMANN |
| Blei . . . . . . . . | 0,050 | KIRWAN |
| | 0,0352 | CRAWFORD |
| | 0,042 | WILKE |
| | 0,04 | DALTON |
| | 0,0316 | DESPRETZ |
| | 0,0293 | DULONG und PETIT |
| | 0,0282 | LAVOISIER und LAPLACE |
| | 0,032 | POTTER |
| | 0,0314 | REGNAULT |
| kohlensaures . | 0,0814 | NEUMANN |

| Feste Körper | Spec. Wär- me | Beobachter. |
|---|---|---|
| Bleiglanz . . . . . . . | 0,044<br>0,053 | NEUMANN |
| Bleioxyd, gelbes . . . . | 0,068 | CRAWFORD |
| rothes . . . | 0,059 | GADOLIN |
| | 0,0623 | LAVOISIER und LAPLACE |
| Bleiweifs . . . . . . . | 0,067 | GADOLIN |
| Blende . . . . . . . . | 0,133 | NEUMANN |
| Bohnen (Pferdebohnen) . | 0,502 | CRAWFORD |
| Buchenholz . . . . . . | 0,49 | MAYER |
| Cadmium . . . . . . . | 0,0577 | DELARIVE und MARCET |
| | 0,0567 | REGNAULT |
| Chromoxyd . . . . . . | 0,196 | NEUMANN |
| Cölestin . . . . . . . | 0,1300 | NEUMANN |
| Diamantstaub . . . . . | 0,1192 | DELARIVE und MARCET |
| Eichenholz . . . . . . | 0,51 | MAYER |
| Eis . . . . . . . . . | 0,90 | KIRWAN |
| | 0,80 | IRVINE |
| | 0,92 | AVOGADRO |
| Eisen . . . . . . . . | 0,130<br>0,145 | IRVINE |
| | 0,125 | KIRWAN |
| | 0,1269 | CRAWFORD |
| | 0,13 | DALTON |
| | 0,126 | WILKE |
| | 0,1100 | DULONG und PETIT |
| | 0,1105 | DESPRETZ |
| | 0,110<br>0,113 | POTTER |
| | 0,1138 | REGNAULT |
| | 0,1112 | SCHITKO |
| weiches Stabeisen . | 0,1190 | GADOLIN |
| kohlensaures . . | 0,1819 | NEUMANN |
| Eisenblech . . . . . . | 0,1099 | LAVOISIER und LAPLACE |
| Eisenglanz . . . . . . | 0,163 | NEUMANN |
| Eisenoxyd . . . . . . . | 0,320 | KIRWAN |
| Eisenoxydul . . . . . . | 0,1666 | CRAWFORD |
| Eisenrost . . . . . . . | 0,250 | CRAWFORD |
| luftfreier . . . | 0,1666 | CRAWFORD |
| Erbsen . . . . . . . . | 0,492 | CRAWFORD |
| Eschenholz . . . . . . | 0,51 | MAYER |
| Fichtenholz . . . . . . | 0,65 | MAYER |
| Fichtensamenstaub . . . | 0,50 | CRAWFORD |
| Forlenholz . . . . . . | 0,61 | MAYER |

| Feste Körper | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| Galmei . . . . . . . | 0,1712 | Neumann |
| | 0,161 | |
| Gerste . . . . . . . | 0,421 | Crawford |
| Glas . . . . . . . . | 0,177 | Dulong und Petit |
| | 0,1756 | Schitko |
| | 0,1977 | Regnault |
| | 0,177 | Neumann |
| schwedisches . | 0,187 | Wilke |
| Flintglas . . . | 0,174 | Kirwan |
| | 0,190 | Dalton |
| Kronglas . . . | 0,20 | Irvine |
| Krystallglas . . | 0,1929 | Lavoisier und Laplace |
| Glockenspeise . . . . | 0,110 | Rumford |
| Gold . . . . . . . . | 0,05 | Wilke |
| | 0,0289 | Dulong |
| | 0,046 | Potter |
| | 0,034 | |
| | 0,0324 | Regnault |
| Graphit . . . . . . | 0,183 | Gadolin |
| Gurhofian . . . . . . | 0,2168 | Neumann |
| Gufseisen . . . . . . | 0,1298 | Regnault |
| | 0,1255 | Despretz |
| weifses . . . | 0,132 | Gadolin |
| mit Graphit . | 0,124 | Gadolin |
| Gyps, künstlicher . . . | 0,264 | Gadolin |
| Hafer . . . . . . . . | 0,416 | Crawford |
| Holzkohle . . . . . . | 0,2631 | Crawford |
| | 0,3950 | Gadolin |
| Iod . . . . . . . . . | 0,082 | Avogadro |
| | 0,089 | |
| | 0,0541 | Regnault |
| Iridium, unreines . . . | 0,0368 | Regnault |
| Kali, kohlensaures (spec. Gew. 1,3) . | 0,2631 | Crawford |
| Kalk, ätzender . . . . | 0,2070 | Gadolin |
| | 0,2229 | Crawford |
| | 0,2564 | |
| | 0,40 | Dalton |
| | 0,2169 | Lavoisier und Laplace |
| kohlensaurer . . | 0,27 | Dalton |
| | 0,2710 | Lavoisier und Laplace |
| Kalkerde . . . . . . . | 0,30 | Dalton |
| Kalkhydrat . . . . . . | 0,25 | Dalton |

| Feste Körper | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| Kalkmilch (9 Kalk 16 Wasser) . . . | 0,4391 | Lavoisier und Laplace |
| Kalkspath . . . . . . . | 0,2090<br>0,1950 | Neumann |
| Kiessand . . . . . . | 0,190 | E. G. Fischer |
| Kobalt . . . . . . . | 0,1489 | Dalton |
| | 0,1498 | Dulong und Petit |
| | 0,1172 | Delarive und Marcet |
| | 0,1070<br>0,1171 | Regnault |
| Kochsalz . . . . . . . | 0,226 | Gadolin |
| | 0,23 | Dalton |
| | 0,1743 | Rudberg |
| Kohle (von Zucker) . . | 0,1650 | Delarive und Marcet |
| | 0,2411 | Regnault |
| Kreide . . . . . . . . | 0,256 | Crawford |
| | 0,27 | Dalton |
| Kupfer . . . . . . . | 0,114 | Wilke |
| | 0,1111 | Crawford |
| | 0,11 | Dalton |
| | 0,096 | Potter |
| | 0,0949 | Dulong und Petit |
| | 0,095 | Marcet und Delarive |
| | 0,0951 | Regnault |
| weiches . . | 0,0990 | Gadolin |
| gehämmertes | 0,0970 | Gadolin |
| Kupferoxyd . . . . . . | 0,2272 | Crawford |
| | 0,137 | Neumann |
| Lindenholz . . . . . . | 0,670 | Mayer |
| Lunge eines Schafes . . | 0,769 | Crawford |
| Magnesia . . . . . . . | 0,276 | Neumann |
| kohlensaure . . | 0,379 | Gadolin |
| Magnesit, blätterig . . . | 0,2270 | Neumann |
| Mangan, unrein . . . . | 0,1441 | Regnault |
| Mennig . . . . . . . | 0,0616 | Neumann |
| Messing . . . . . . . | 0,116 | Wilke |
| | 0,1123 | Crawford |
| | 0,11 | Dalton |
| | 0,0890 | Despretz |
| | 0,093 | Neumann |
| | 0,0939 | Regnault |
| Mörtel . . . . . . . | 0,28 | Gadolin |
| | 0,2229 | Crawford |
| Molybdän . . . . . . . | 0,0659 | Delarive und Marcet |

| Feste Körper | Spec. Wär-me | Beobachter. |
|---|---|---|
| | 0,102 | Neumann |
| | 0,0723 | Regnault |
| Muskelfleisch vom Ochsen | 0,74 | Crawford |
| Nickel . . . . . . . | 0,100 | Dalton |
| | 0,1035 | Dulong und Petit |
| | 0,1086 | Regnault |
| nicht geschmolzen | 0,1119 | Regnault |
| geschmolzen | 0,1163 | Regnault |
| Ochsenhaut mit Haaren . | 0,787 | Crawford |
| Palladium . . . . . . | 0,0593 | Regnault |
| Pechtannenholz . . . . | 0,58 | Mayer |
| Pflaumbaumholz . . . . | 0,44 | Mayer |
| Phosphor . . . . . . | 0,385 | Avogadro |
| | 0,1887 | Regnault |
| Platin . . . . . . . | 0,13 | Irvine |
| | 0,0314 | Dulong und Petit |
| | 0,0335 | Pouillet |
| Blech . . . | 0,0324 | Regnault |
| Schwamm . . | 0,0329 | Regnault |
| Pottasche . . . . . . | 0,759 | Kirwan |
| Preufsisch-Blau . . . . | 0,300 | Gadolin |
| Quecksilberoxyd, rothes . | 0,049 | Neumann |
| | 0,0501 | Lavoisier und Laplace |
| Realgar . . . . . . | 0,130 | Neumann |
| Reis . . . . . . . | 0,5060 | Crawford |
| Rose'sches Metall . . . | 0,0338 | Erman [1] |
| Rotheisenstein . . . . | 0,1660 | Neumann |
| Scheel . . . . . . . | 0,035 | Delarive und Marcet |
| | 0,0364 | Regnault |
| Schmiedekohlen . . . . | 0,1923 | Crawford |
| Schwefel . . . . . . | 0,183 | Kirwan |
| | 0,189 | Irvine |
| | 0,19 | Dalton |
| | 0,2085 | Lavoisier und Laplace |
| | 0,188 | Dulong und Petit |
| | 0,2026 | Regnault |
| | 0,209 | Neumann |
| Schwefelantimon . . . | 0,1286 | Delarive und Marcet |
| Schwefeleisen . . . . | 0,1350<br>0,1396 | Delarive und Marcet |
| Schwefelkies . . . . . | 0,1320 | Neumann |
| Schwefelmolybdän . . . | 0,1097 | Delarive und Marcet |

1 Poggendorff's Ann. XX. 290.

| Feste Körper | Spec. Wär-me | Beobachter. |
|---|---|---|
| Schwefelquecksilber . . . | 0,0598 | Delarive und Marcet |
| Schwerspath . . . . . . | 0,1068 | Neumann |
| Seesalz . . . . . . . | 0,23 | Dalton |
| Selen . . . . . . . . | 0,0834 | Delarive und Marcet |
| | 0,0837 | Regnault |
| Silber . . . . . . . . | 0,082 | Wilke |
| | 0,08 | Dalton |
| | 0,0557 | Dulong und Petit |
| | 0,059<br>0,063 | Potter |
| | 0,0570 | Regnault |
| Silberglätte . . . . . | 0,049 | Gadolin |
| Spatheisenstein . . . . | 0,1825 | Neumann |
| Speerkies . . . . . . . | 0,1332 | Neumann |
| Spiefsglanzerz, grau . . | 0,083<br>0,092 | Neumann |
| Stahl . . . . . . . . | 0,1185 | Regnault |
| | 0,1128 | Despretz |
| gehärtet . . . | 0,123 | Gadolin |
| weich . . . . . | 0,120 | Gadolin |
| feiner . . . . . | 0,1273 | Regnault |
| Steingut, Erdenwaare . . | 0,119 | Kirwan |
| Steinkohle . . . . . . | 0,2777 | Crawford |
| | 0,28 | Kirwan |
| (spec. Gew. 1,27) | 0,28 | Dalton |
| Strontian, kohlensaurer . | 0,1445 | Neumann |
| Talkerde, schwefelsaure mit Krystallwasser . | 0,2906 | Rudberg |
| Tannenholz . . . . . . | 0,60 | Mayer |
| Tellur . . . . . . . . | 0,0912 | Dulong und Petit |
| | 0,0516 | Regnault |
| Thon, weifser . . . . . | 0,2410 | Gadolin |
| weifser, gebrannt . | 0,185 | Gadolin |
| Tungstein . . . . . . . | 0,0306 | Delarive und Marcet |
| Ulmenholz . . . . . . | 0,450 | Mayer |
| Uran . . . . . . . . | 0,0619 | Regnault |
| Oxydul . . . | 0,106 | Neumann |
| Pecherz . . . | 0,106 | Neumann |
| Wachs, weifses . . . . . | 0,45 | Gadolin |
| Weizen . . . . . . . . | 0,4770 | Crawford |
| Wismuth . . . . . . . | 0,043 | Wilke |
| | 0,04 | Dalton |
| | 0,0288 | Dulong und Petit |

| Feste Körper | Spec. Wärme | Beobachter. |
|---|---|---|
| | 0,033 | POTTER |
| | 0,039 | POTTER |
| | 0,0308 | REGNAULT |
| | 0,027 | NEUMANN |
| Zink . . . . . . . | 0,102 | WILKE |
| | 0,0943 | CRAWFORD |
| | 0,10 | DALTON |
| | 0,0935 | DESPRETZ |
| | 0,0927 | DULONG und PETIT |
| | 0,098 | POTTER |
| | 0,094 | POTTER |
| | 0,0956 | REGNAULT |
| kohlensaures . . | 0,1712 | NEUMANN |
| Zinkoxyd . . . . . . | 0,1369 | CRAWFORD |
| | 0,132 | NEUMANN |
| Zinkstein . . . . . . | 0,090 | NEUMANN |
| Zinn . . . . . . . | 0,0704 | CRAWFORD |
| | 0,060 | WILKE |
| | 0,07 | DALTON |
| | 0,0514 | DULONG und PETIT |
| | 0,0475 | LAVOISIER und LAPLACE |
| | 0,056 | POTTER |
| | 0,0514 | DELARIVE und MARCET |
| | 0,0562 | REGNAULT |
| | 0,0537 | DESPRETZ |
| englisches . . . | 0,0569 | REGNAULT |
| Zinnbleioxyd . . . . . | 0,102 | KIRWAN |
| Zinnober . . . . . . | 0,052 | NEUMANN |
| Zinnoxyd . . . . . . | 0,0990 | CRAWFORD |
| | 0,096 | KIRWAN |

450) Bei allen diesen Bestimmungen ist die *specifische Wärme des Wassers* als Einheit angenommen, und der Ueberblick der Tabelle zeigt, wenn wir einige ältere, offenbar ungenügende Resultate unbeachtet lassen, daſs unter allen Körpern das Wasser die gröſste specifische Wärmecapacität habe, mit Ausnahme des Wasserstoffgases, wovon man aber wegen seiner auſserordentlich geringen Dichtigkeit nicht leicht eine hinlänglich groſse Masse vereinigt erhalten kann, um seine, durch das ganze Volumen verbreitete und daher in einem einzelnen Theile der Masse nur geringe, wenn gleich im Ganzen

grofse Wärmecapacität wahrzunehmen. Dagegen zeigt sich die starke Wärmecapacität des Wassers in vielen gemeinen Erscheinungen. Von ihr rührt es her, dafs das Wasser so vieles Brennmaterial erfordert und dennoch erst in verhältnifsmäfsig langer Zeit bedeutend heifs wird, dagegen aber seine Wärme nur langsam verliert. Siedendes Wasser erzeugt vorzugsweise Brandwunden, mindestens leichter, als jede andere, bis zur Siedehitze erwärmte Substanz, namentlich als die Metalle, und wenn man in einen erwärmten silbernen Löffel Medicin giefst, so wird diese nicht bedeutend warm, wenn sie auch nur den dritten oder vierten Theil des Metallgewichtes beträgt, wogegen der Löffel bei gleichem Gewichtsverhältnisse bedeutend erwärmt wird, wenn man heifses Wasser hineingiefst. Aus eben diesem Grunde ist das Wasser sehr geeignet zur *Erwärmung von Treibhäusern*, in die man dasselbe durch zweckmäfsige Vorrichtungen heifs leitet und nach Abgabe seiner Wärme wieder zurückströmen läfst, wozu Tredgold[1] sehr zweckmäfsige Anleitung gegeben hat.

## 5) Latente, gebundene Wärme.

451) Vermöge der verschiedenen Wärmecapacität der Körper werden nicht alle durch eine gleiche Menge der auf die eine oder die andere Weise ihnen zugeführten Wärme eine gleiche Erhöhung ihrer Temperatur erhalten, immerhin aber wird dieselbe steigen, wie wenig ergiebig auch die Wärmequelle und wie grofs die specifische Wärmecapacität der Körper seyn mag, sobald nur das zu ihrer Wahrnehmung verwandte thermoskopische Werkzeug die erforderliche Feinheit besitzt, um sie anzuzeigen. Wirkte z. B. auf einen gegebenen Körper eine Wärmequelle auf eine solche Weise, dafs sie in ihm nur 1° C. Temperaturerhöhung hervorbrächte, und würde sie dann bei einem andern Körper von 20mal gröfserer Wärmecapacität angewandt, so könnte sie in diesem nur $\frac{1}{20}$ Grad Temperaturerhöhung erzeugen, die aber auf jeden Fall zum Vorschein kommen mufs, wenn das Thermometer empfindlich genug ist. Beispiele dieser Art giebt es wirklich. Nehmen wir

---

1 Trans. of the horticult. Soc. T. VII. P. IV. p. 568. Daraus in Wiener Zeitschrift Th. VIII. S. 456.

die Wärmecapacität des Quecksilbers = 0,033 gegen Wasser als Einheit an, so würde die Wärmequelle, welche die Temperatur von 1 Pfund Quecksilber um 1° C. zu erhöhen diente, die von 1 Pfund Wasser nur um 0°,033 C. steigen machen, eine so kleine Gröfse, dafs ein gewöhnliches, minder empfindliches Thermometer sie nicht anzuzeigen vermöchte. Dennoch aber wäre diese Temperaturerhöhung wirklich vorhanden und auch sensibel, denn erhitzte die Wärmequelle das Quecksilber um 10° C., so würde die Temperatur des Wassers durch sie um 0°,33 wachsen, und wir sind also nach dem Grundsatze, dafs die Wirkung der Ursache proportional sey, auch ohne mögliche Messung berechtigt zu schliefsen, dafs eine zehnmal, ja hundertmal schwächere Wärmequelle eine zehnmal und hundertmal geringere Erhöhung der Temperatur hervorbringen würde. Ganz etwas anderes ist es aber mit dem *Latentwerden* der Wärme; denn wenn in diesem Falle auch eine bedeutende Quantität derselben zugeführt wird, so verschwindet sie gänzlich und ist durchaus nicht thermoskopisch wahrnehmbar. Man könnte hiergegen einwenden, die zugeführte Wärme verschwinde nicht wirklich, sondern sey nur wegen ihrer Geringfügigkeit und der grofsen Wärmecapacität der Körper nicht mefsbar, allein diese Voraussetzung ist mit den Thatsachen unvereinbar; denn wenn z. B. Schnee und Kochsalz, beide von 0° C. Temperatur, gemischt werden, so geht die Temperatur beider vereinten Körper weit unter 0° C. herab, selbst wenn von der weit wärmeren Umgebung stets Wärme zugeführt wird, so dafs also nicht blofs die eigene Wärme beider Körper, sondern auch die zugeführte latent wird und aufhört, sensibel zu seyn.

452) Das Latentwerden der Wärme läfst sich leicht bei demjenigen Körper, wobei es vorzugsweise statt findet, durch einen entscheidenden Versuch anschaulich machen. Nimmt man bei strenger Kälte ein Gefäfs mit Eis, in dessen Mitte sich die Kugel eines eingefrornen Thermometers befindet, welches, wir wollen annehmen, — 10° C. zeigt, und setzt man dieses über eine Weingeistflamme, so wird das Thermometer schnell bis 0° C. steigen und dadurch das Eindringen der Wärme kenntlich machen. Von da an bleibt aber dasselbe, ungeachtet der fortdauernd einströmenden Wärme, unverändert auf 0° stehen, so lange die Kugel noch in Eis eingeschlossen

ist. Sobald aber der letzte Antheil desselben sich in Wasser verwandelt hat, wird im Verhältniſs der Intensität der Wärmequelle das Thermometer rasch steigen, bis das Wasser die Siedehitze erreicht, und dann abermals auf diesem Puncte stehn bleiben, ohne von der fortdauernd zuströmenden Wärme afficirt zu werden, die im gebildeten Dampfe latent wird. Eben hierauf beruht die Erhaltung der beiden *festen Puncte* des *Thermometers*[1].

453) Man muſs sich wundern, daſs diese so oft vorkommende Erscheinung von den älteren Physikern nicht beachtet oder wenigstens nicht nach ihrer Wesenheit gewürdigt wurde, denn man verfertigte bereits seit geraumer Zeit durch Anwendung dieses Mittels übereinstimmende Thermometer, ohne den Begriff der latenten Wärme gehörig aufzufassen. Im Winter 1754 bis 1755 lieſs de Luc[2] Wasser mit eingesenkten Thermometern in Trinkgläsern gefrieren, und als dieses Eis aufthauete, bemerkte er keine Zunahme der Temperatur, so lange die Kugel des Thermometers vom Eise umgeben war, obgleich sich eine Vermehrung der Wärme bei dem Eise gezeigt hatte, als es tief erkaltet in ein warmes Zimmer gebracht wurde. Hieraus folgerte de Luc, daſs die Wärme oder das Feuer, wie man es damals nannte, verschwinde. Am sinnreichsten arbeitete hierin Black[3], und zeigte um dieselbe Zeit in seinen Vorlesungen den in dieser Beziehung entscheidenden Versuch, welcher erst später durch Crawford[4] allgemeiner bekannt wurde. Er mischte 59,5 Th. Eis und 67,5 Th. Wasser, das Glas aber, worin sich letzteres befand, schätzte er auf 4 Th. Wasser, so daſs 71,5 heiſses Wasser von 190° F. mit 59,5 Th. Eis von 32° F. vereint wurden. Nach dem Schmelzen des Eises zeigte die Mischung 53° F., folglich hatte das Wasser 137° F. verloren, das Eis aber 21° gewonnen, statt daſs der Rechnung nach die Mischung 118° seyn und das Eis 86° gewonnen haben sollte, mithin muſsten 65° F. verloren oder latent geworden seyn. Ist hiernach die Masse des Wassers

1 Vergl. Art. *Thermometer.* Bd. IX. S. 882.

2 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 438. Neue Ideen über Meteorol. §. 179.

3 Lectures. T. I. p. 79 u. 504. Vergl. Herschel in Encyclop. met. art. *Heat.* p. 319.

4 On animal Heat. 1788.

$= m$, seine Temperatur $= t$, seine zu bestimmende Wärmecapacität $= c$, die Masse des Eises $= m'$, die gemeinschaftliche Temperatur nach der Mischung $= T$, so ist die in der flüssigen Masse enthaltene Wärme $= (m + m')\, c\, T$. Wird hierzu die vom Eise durch seine Schmelzung absorbirte Wärme genommen, die seiner Masse proportional ist, so erhält man $(m + m')\, c\, T + m'$, und diese mufs der im heifsen Wasser enthaltenen gleich seyn. Hiernach hat man

$$(m + m')\, c\, T + m' = m\, c\, t,$$

woraus

$$c = \frac{m'}{m\, t - (m + m')\, T},$$

und für Black's Bestimmungen

$$m = 143; \quad t = 190 - 32 = 158$$
$$m' = 119; \quad T = 53 - 32 = 21$$

ist $c = \dfrac{119}{143 \times 158 - 262 \times 21} = \dfrac{119}{17132} = 0°{,}00694$ F.

und nach Centesimalgraden gerechnet 0°,01249 C., welches nahe 1:80 giebt. In einem andern Versuche vereinigte Black gleiche Gewichte Wasser von 176° F. und Eis von 32° F., und fand, dafs dieses gerade hinreichte, das Eis zu schmelzen, wodurch also 144° F. oder 80° C. latent wurden. Wie oben (§. 375) angegeben worden ist, hatte Wilke wahrscheinlich Kenntnifs von diesen Versuchen; er wiederholte dieselben, durch ihn wurde die Sache allgemein bekannt[1], und er galt auch seitdem für den Erfinder der Lehre vom latenten Wärmestoff. Nach seinen Resultaten bestimmte er die Menge der zum Schmelzen des Eises erforderlichen Wärme auf 72° C., denn wenn er gleiche Massen Schnee von 0° und Wasser von 72° vereinigte, so erhielt die Mischung nicht die mittlere Temperatur beider, die sie nach Richmann's Regel (§. 375) haben sollte, sondern sie blieb auf 0°, und die 72° C. waren also zum Schmelzen des Schnees verwandt worden. Eben dieses Resultat gab folgender Versuch. Er setzte zwei gleiche blecherne Gefäfse mit gleichen Mengen, das eine mit Schnee, das andere mit Wasser, beide von 0° C. gefüllt, im nämlichen Augenblicke in siedendes Wasser. Sobald das Thermometer im Wassergefäfse 72° zeigte,

1 Neue schwed. Abh. 1782. Th. II.

nahm er das mit Schnee gefüllte heraus, dessen Thermometer dann 2° zeigte, aber sofort auf 0° herabsank, als der letzte Antheil des noch vorhandenen Schnees geschmolzen war. Dieser Versuch dürfte aber gröfsere Genauigkeit erfordern, um beweisend zu seyn.

454) Die genaue Bestimmung der Menge von Wärme, welche im schmelzenden Eise gebunden wird, ist in vielfacher Beziehung, hauptsächlich aber für die Anwendung des *Eiscalorimeters* (§. 377) sehr wichtig. Wie eben gezeigt, bestimmte Black dieselbe zu 80° C., Wilke dagegen zu 72° C.; Watt und de Luc[1] sind geneigt, dem Ersteren beizustimmen, im Allgemeinen aber erhielt die letztere Bestimmung die meisten Anhänger, bis Lavoisier und Laplace[2] das Problem abermals untersuchten. Sie fanden durch wiederholte Versuche, dafs eine Quantität Wasser von 75° C. gerade hinreicht, um eine gleiche Masse Eis zu schmelzen und die Mischung auf 0° C. zu bringen, so dafs also die 75° latent werden. Diese Bestimmung ist seitdem allgemein angenommen worden, und es folgt aus ihr, dafs das Eis bei 0° Temperatur 75° C. Wärme verschluckt, um ohne Temperaturvermehrung flüssig zu werden, oder soviel, als hinreichen würde, um eine gleiche Quantität Wasser von 0° auf 75° zu bringen, oder um eine 75mal gröfsere Masse Wasser von 0° um 1° zu erwärmen. Umgekehrt mufs Wasser, wenn es bei 0° seiner Temperatur gefriert, eine gleiche Quantität Wärme abgeben, um in Eis verwandelt zu werden. Auch diese *Entbindung* der Wärme ist wie die Bindung derselben durch Versuche erwiesen. De la Beche[3] setzte Wasser, worüber eine Oelschicht stand, einer Kälte von — 11°,25 C. aus und fand, dafs das Oel so lange flüssig blieb, bis alles Wasser in Eis verwandelt war. Bringt man in ein Zimmer, dessen Temperatur — 16° C. seyn möge, zwei Gefäfse, das eine mit Wasser, das andere mit Salzsoole gefüllt, beide von 0° Temperatur, so wird letztere erkalten, wir

1 Neue Ideen über die Meteorol. §. 211.

2 Mémoires de l'Acad. de Paris. 1780. Thomson System of Chemistry T. I. p. 56 erwähnt, dafs Cavendish schon vor Black das Latentwerden der Wärme im schmelzenden Eise entdeckt zu haben behaupte und ihre Menge = 83°,34 C. annehme.

3 G. LXXI. 435. Bibliothèque univ. T. XIII. p. 76.

wollen annehmen bis — 12°, ersteres aber wird zum Theil in Eis verwandelt werden, ohne seine Temperatur zu ändern; da aber beide nothwendig Wärme an die äufsere Umgebung abgeben müssen, so folgt hieraus, dafs das in Eis verwandelte Wasser die nach aufsen abgegebene Wärme frei gemacht und dadurch ein Sinken der Temperatur verhindert habe[1]. Ein ähnlicher Versuch von Fahrenheit ist folgender[2]. Man lasse Wasser von beliebiger Temperatur in einem langen schmalen Glase in einem Zimmer von etwa — 6° C. Wärme ruhig stehend erkalten, indem dasselbe lose bedeckt und ein Thermometer hineingesenkt ist. Das Wasser sinkt allmälig bis zur Temperatur der Umgebung, also bis — 6° C. herab, allein beim Erschüttern des Glases gefriert augenblicklich ein Theil des Wassers, und der Rest zeigt 0° C. Black mischte 1 Th. Wasser von 0° C. mit 1 Th. Schnee von — 16°, die also — 8° geben mufsten, und bei dieser Temperatur konnte die ganze Masse nicht anders als gefroren seyn, allein es war nur $\frac{1}{5}$ des Wassers in Eis verwandelt und das Ganze zeigte 0°. Dieses stimmt vollkommen mit seiner Bestimmung überein; denn da das Wasser beim Gefrieren nach seiner Messung 80° C. Wärme entbindet, so mufsten durch das gebildete Eis $\frac{80°}{5} = 16°$ Wärme frei werden, die also die Temperatur des Schnees um diese 16° erhöhten. Thomson[3] bemerkt in dieser Beziehung, dafs allezeit ein der Temperaturverminderung proportionaler Theil des Wassers in Eis verwandelt werde, also nur $\frac{1}{5}$, wenn dasselbe bis — 16° erkaltet sey, und man müsse es daher bis $-5 \times 16 = -80°$ erkalten lassen, wenn alles Wasser gefrieren solle. Inzwischen ist es kaum möglich, die Menge des gebildeten Eises genau zu bestimmen, und dafs diese Messung Täuschungen unterliege, wird unten (§. 499) gezeigt werden. Uebrigens stimmen theoretische Ansichten hiermit überein; denn man mufs annehmen, dafs bei der Bildung der Eiskrystalle die umgebenden Wassertheile die frei gewordene Wärme aufnehmen.

455) Weil bei diesen und anderen, demnächst zu erwäh-

1 Herschel in Encyclop. metrop. Art. *Heat.* p. 319.
2 Philos. Trans. 1824. N. 382.
3 Chemistry. T. I. p. 54.

nenden Processen die wirklich vorhandene Wärme nicht mehr thermoskopisch wahrnehmbar ist, so nannte Black sie *latente*, andere dagegen nannten sie *Flüssigkeitswärme*, weil sie verschwindet, indem sie den Zustand der Festigkeit in den der Flüssigkeit verwandelt. Die erste Bezeichnung ist für alle Erscheinungen dieser Art zulässig, die letztere aber ist zu eng und würde noch eine zweite für die Dampf- und Gasbildung erfordern, weswegen man auch später den ersteren Ausdruck als den allgemeineren beibehalten hat. Die Entdeckung dieser auffallenden Erscheinungen, die vorzugsweise dazu beitrugen, die verworrenen Begriffe über das Wesen der Wärme oder des Feuers, wie man es damals nannte, zu berichtigen, veranlafsten sofort auch eine Menge Untersuchungen über die Art, wie die Wärme in den Körpern existiren möge. Black nannte sie *gebunden* und schien hierdurch eine chemische Vereinigung anzudeuten, wogegen aber Crawford sich erklärte, nach dessen Ansicht eine solche chemische Bindung nicht statt finden kann, weil die blofse Annäherung kälterer Körper sie wieder zu trennen vermag. Dagegen sucht er die Ursache in einer gröfseren *Capacität*, die beim Wasser gröfser seyn soll, als beim Eise, und beim Wasserdampfe gröfser, als beim Wasser; doch geht die Unzulässigkeit dieser Theorie aus den Untersuchungen über die Wärmecapacität der Körper evident hervor[1]. Ehemals, als man noch die permanent elastischen Flüssigkeiten oder die Gase von den nicht permanent elastischen, den Dämpfen, für wesentlich verschieden hielt, mufste man consequent annehmen, dafs die Wärme in den Gasen chemisch gebunden sey, nicht aber in den Dämpfen, oder im Wasser, sofern man dieses als durch Wärme aus dem Eise entstanden betrachtet. Daher nahm Pictet[2] viererlei Arten von Feuer an, freies, specifisches, latentes und chemisch gebundenes; das latente aber soll wieder *Flüssigkeitswärme* und *Vaporisationswärme* (Verdampfungswärme) genannt werden, wogegen jedoch Gehler[3] erinnert, dafs man die Wärme, wenn sie sich nicht frei wirksam zeigt, ebenso gut gebunden nennen könne, als

---

1 Gegen diese Ansicht erklärt sich ausführlich de Luc in: Neue Ideen über die Meteorologie. Th. I. §. 115 ff.

2 Versuch über das Feuer. Cap. I.

3 Wörterbuch, a. A. Th. IV. S. 565.

das Krystallisationswasser. Aus LAVOISIER's[1] Zerlegung des Wassers folgerte ACHARD[2], indem er Wasserdämpfe durch glühende eiserne Röhren strömen liefs oder glühende Metallmassen in luftfreiem Wasser ablöschte, dafs aus Dämpfen Luft erzeugt werde, mithin die Wärme in beiden nicht in einem wesentlich verschiedenen Zustande vorhanden seyn könne; was man gegenwärtig jedoch aus einem andern Gesichtspuncte betrachtet. JOH. TOB. MAYER[3] hatte wohl ohne Zweifel die richtigsten Begriffe von der Sache selbst, obgleich er sich zu CRAWFORD's Meinung zu neigen schien. Nach seiner Ansicht, die später durch LAPLACE geistreich dargestellt und durch den gelehrtesten Calcül unterstützt wurde, sind die Molecüle der Körper von Wärmesphären umgeben, welche der Anziehung dieser Molecüle durch ihre Repulsion entgegenwirken. Kommen dieselben in eine veränderte Lage, wie z. B. die des Wassers bei seiner Entstehung aus dem Eise, so läfst sich annehmen, dafs die specifische Elasticität der Wärme dadurch vermindert werde oder dafs eben die Repulsion der Wärme der Vereinigung der Wassermolecüle zu Eis entgegenwirke und sie selbst dadurch für das Thermometer wahrnehmbar zu seyn aufhöre. Vielleicht, meint er, erweitern sich die Zwischenräume zwischen den Molecülen, wodurch dann mehr Wärme aufgenommen wird, ohne eine gröfsere Spannung derselben zuzulassen[4], da sie vielmehr blofs in die Zwischenräume eindringt. Auf dem Angezogenwerden der Wärme durch die Molecüle der Körper beruht nach ihm auch die geringe Wärme des leeren Raumes, welcher die gröfste besitzen müfste, wenn der Wärmestoff in allen Räumen von gleicher Temperatur in gleicher Quantität vorhanden wäre; vielmehr wachse diese Quantität im Verhältnifs der Anziehung der individuellen Molecüle der Körper gegen den Wärmestoff. Diese eigenthümliche Anziehung will er dann durch Capacität ausgedrückt haben und nähert sich auf diese Weise der Meinung CRAWFORD's, allein der Begriff der

1 Opusc. phys. et chym. 1783. T. III.

2 Crell's chem. Ann. 1785. St. 4, 5, 6.

3 Ueber die Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. Erlangen 1791.

4 Das geringere spec. Gewicht des Eises kann hiergegen keinen Einwurf bilden, denn das Eis hat krystallinisches Gefüge.

Wärmecapacität ist einmal festgesetzt, das Verhalten der Körper in dieser Beziehung ist verschieden von dem, welches sie beim Latentwerden der Wärme zeigen, und es läſst sich kein Grund angeben, warum man die im letzteren Falle verschwindende, thermoskopisch nicht mehr wahrnehmbare Wärme nicht latent oder gebunden nennen sollte. Ob diese Bindung eine gleiche sey, als diejenige, welche sich bei chemischen Verbindungen zeigt, die sämmtlich auf Anziehungen beruhn, darüber etwas auszumachen würde offenbar zu einem Wortstreite führen. Minder bestimmt und klar ist Gren[1], welcher einen *unmerkbaren* Wärmestoff (*calor insensibilis*) annimmt, den er wieder in einen *adhärirenden* und *chemisch gebundenen* abtheilt. In den Dämpfen und im Wasser soll derselbe bloſs adhärirend seyn, weil er durch bloſse Annäherung kalter Körper wieder entzogen wird, in den permanent elastischen Gasarten aber chemisch gebunden; allein man wird schwerlich geneigt seyn, die vom Entdecker zweckmäſsig gewählte Bezeichnung mit dieser neuen zu vertauschen, und die nicht einmal streng begründete Permanenz der Gase kann die Nothwendigkeit eines solchen Unterschiedes in der Bezeichnung nicht herbeiführen. Die Einwendungen endlich, welche de Soyecourt[2] gegen die Versuche von Black und Wilke gemacht hat, wonach er die ganze Sache bestreitet oder die Menge der gebundenen Wärme bedeutend herabsetzt, werden am besten mit Stillschweigen übergangen.

456) Nicht bloſs das Eis hat die Eigenschaft, bei seiner Verwandlung in Wasser Wärme zu binden und umgekehrt bei seiner Entstehung frei zu machen, sondern wahrscheinlich findet dieses, wo nicht bei allen, doch bei den meisten Körpern statt, wenn auch in einem geringeren Grade; aber nur bei verhältniſsmäſsig wenigen ist diese Thatsache durch Versuche constatirt und die Menge der frei oder latent werdenden Wärme genau ermittelt. Schon der ältere Irvine[3] will dieses Verhalten bei Spermaceti und Wachs beobachtet haben, der jüngere Irvine[4]

1 Grundriſs d. Naturlehre 1793. §. 726. System. Handb. d. Chemie Th. I §. 210.

2 Mém. sur les expériences données en preuve de la chaleur latente. Par. 1787. Journ. de Phys. T. XXXII. p. 143. Gotha'sches Mag. Th. VI. St. 2. S. 131.

3 Chemical Essays.

4 Nicholson's Journ. T. IX. p. 45. G. XXXVIII. 305.

aber beim Zinn, Wismuth, Blei, Zink und Schwefel; allein es ist nicht wohl glaublich, dafs die von ihnen gefundenen Mengen der entbundenen Wärme, welche insgesammt die des Eises übertreffen, für genau zu halten sind. Vorzugsweise zeigt sich das Phänomen bei allen aus ihren Lösungen schnell krystallisirenden Salzen, wie schon aus der Aehnlichkeit dieses Processes mit der Eisbildung wahrscheinlich wird. Wenn man in dem bekannten Versuche[1] 51 Th. krystallisirtes Glaubersalz in 49 Th. Wasser gelöst in einem Medicinglase bis zum völligen Sieden bringt, dann schnell verkorkt, um ein Vacuum zu erhalten, nach dem Erkalten eröffnet und die Kugel eines feinen Thermometers hineinsenkt, so wird die gesammte Masse durch die Berührung mit der Thermometerkugel schnell krystallisiren, und das Thermometer zeigt Entbindung der Wärme, die man auch durch das Gefühl wahrnimmt. Scholz[2] erzählt ein sehr auffallendes Beispiel der Wärmeentbindung, welches wegen der unverdächtigen Glaubhaftigkeit des Beobachters Erwähnung verdient. Er stellte ein Gefäfs mit Lauge von salzsaurem Kalk, die bis zum Krystallisationspuncte abgedampft war, zum Krystallisiren im Winter vor das Fenster. Als nach dem Erkalten dieses nicht erfolgte, nahm er die Schale herein, um die Lauge noch weiter abzudampfen, allein durch die Erschütterung begann sie sogleich zu krystallisiren, und die Schale wurde dadurch so heifs, dafs er sie kaum halten konnte und auf einen Tisch setzen mufste. Dabei bewegte die Lauge sich heftig und wallte auf, als wenn sie siedete.

Das Latentwerden der Wärme und ihre Erzeugung zeigt sich aber nicht blofs beim Processe des Krystallisirens, sondern man kann allgemein sagen, dafs Wärme gebunden wird, wenn Körper aus dem Zustande der Festigkeit in den der tropfbaren Flüssigkeit übergehn, und dafs umgekehrt Wärme zum Vorschein kommt, wenn tropfbar-flüssige Körper fest werden. Landriani[3] umwickelte eine Thermometerkugel mit Stanniol und tauchte sie in Quecksilber, wodurch das Thermometer zum

---

1 Boyle Exper. Physico-mech. Cont. II. art. XI. exp. 2. p. 330. Gay-Lussac in Schweigger's Journ. IX. 70. XV. 157 u. 231.

2 Anfangsgründe der Physik. 3te Aufl. Wien 1827. S. 461.

3 Opusc. fisico-chem. p. 81.

Sinken gebracht wurde. Nach Hassenfratz[1] soll gefrorenes Quecksilber nicht weniger als 84°,6 C. bedürfen, um flüssig zu werden, also mehr als Eis, was jedoch wegen der grofsen Wärmecapacität des Wassers sehr unwahrscheinlich ist, und die Versuche sind auch zur Begründung dieser Gröfse keineswegs genau genug, vielmehr müssen wir annehmen, dafs das Eis die gröfste Menge Wärme bedarf, um flüssig zu werden, so lange, bis das Gegentheil entschieden dargethan ist. Nach Crichton[2] schmilzt Blei bei 322° C. und behält beim Gestehn diese Temperatur bei, scheidet also keine Wärme aus; Wismuth schmilzt bei 246°, sinkt im Momente des Flüssigwerdens um 4°,45 und steigt sofort wieder; Zinn schmilzt bei 227° C., sinkt aber nur um 2°,22. Diese Resultate haben einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, denn theils sind die Mengen der latenten Wärme so gering, dafs sie leicht übersehn und nur durch eigens angestellte Versuche ausgemittelt werden konnten, theils giebt das Wismuth, als das am vollständigsten krystallisirende Metall, die gröfste, das Blei aber die geringste Wärmemenge. Döbereiner[3] vereinigte 1 Th. des leichtflüssigen (Rose'schen) Metalles mit dem 2,6fachen Quecksilber, beide von 18°,75 C. Wärme, und sah die Temperatur durch die Auflösung bis — 10° C. herabgehn; ebenso mischte er 688 Gr. Wismuthamalgam (404 Th. Quecksilber, 284 Th. Wismuth) mit 816 Gr. Bleiamalgam (404 Th. Quecksilber, 412 Th. Blei) bei 20° Temperatur, und die Verbindung sank bis — 1°,25 C. herab. Vereinigt man hiermit noch 808 Th. Quecksilber, so geht die Temperatur auf — 8° herab, wird aber ein in kleine Theilchen verwandeltes Gemenge aus 118 Th. Zinn, 207 Th. Blei und 284 Th. Wismuth bei 17°,5 in 1616 Th. Quecksilber gelöst, so sinkt die Wärme bis — 10°. Auch Orioli[4] beobachtete, dafs durch Vereinigung des festen Bleiamalgams mit festem Wismuthamalgam beide flüssig wurden und die Wärme um 22° C. herabsank.

---

1 Journ. de l'école polyt. T. I. p. 123. Trommsdorff's Journ. d. Pharm. Th. VIII. S. 402.

2 Annals of Philos. T. XIII. p. 224.

3 Schweigger's Journ. XLII. 183. Kastner's Archiv. Th. III. S. 90.

4 Nuov. Collez. di Op. Scient. 1823. p. 104. Ferussac Bullet. des Sc. math., phys. et chim. 1825. p. 117.

457) Sehr interessante Versuche über das Verhalten der Metalllegirungen hat Rudberg[1] mit seiner gewohnten Schärfe im Experimentiren angestellt. Er liefs acht verschiedenartige Mischungen von Blei und Zinn in einem nach Dulong's Art construirten Apparate erkalten und beobachtete die für 10° C. erforderliche Zeit. Wenn wir mit Rudberg zunächst diese verbundenen Metalle berücksichtigen, so zeigte sich bei allen für die Temperatur von 187° C. (des Quecksilberthermometers) ein fester Stillstandspunct, wo die Temperatur unverändert bleibt, also nothwendig latente Wärme frei werden mufs. Die Dauer des Stillstandes betrug bei $Pb.Sn^4$ im Maximum 11 Min. 51 Sec. und nahm mit verändertem Mischungsverhältnifs, von dem angegebenen ausgehend, nach beiden Seiten bis 1 Min. 48 Sec. für $Pb^3.Sn$ ab, aufserdem aber zeigte sich noch ein beweglicher (bei den verschiedenen Verbindungen ungleicher) Stillstandspunct, welcher bei den einfachen Metallen nicht vorhanden ist oder vielmehr mit der Erstarrungstemperatur derselben zusammenfällt. Auch diese zeigen beim Erstarren die Wirkung der entbundenen latenten Wärme, und zwar das Blei bei 325°, das Zinn bei 228° C. des Quecksilberthermometers. Bei sechs verschiedenen Verbindungen von Zinn und Wismuth fiel der feste Stillstandspunct des Thermometers bei 143° C., dauerte für $Sn.Bi$ im Maximum 19 Min. 4 Sec. und nahm nach beiden Seiten bis 7 Min. 2 Sec. im Minimum ab, welches bei $Sn^4.Bi$ statt fand. Auch hierbei zeigte sich ein zweiter beweglicher Stillstandspunct, aufser bei $Sn^3.Bi^2$., welches mit Ausnahme des genannten festen Stillstandspunctes regelmäfsig erkaltete. Ein gleiches Verhalten zeigten sechs Verbindungen von Zink und Zinn, denn auch hierbei fiel der feste Stillstandspunct bei 204°, betrug für $Zn.Sn^4$. im Maximum 13 Min. 15 Sec., nahm nach beiden Seiten ab bis 8 Min. 8 Sec. im Minimum bei $Zn.Sn^{12}$., der gleichfalls vorhandene bewegliche Punct fehlte aber bei derjenigen Verbindung, wo der feste die längste Dauer hatte, weswegen er vermuthlich mit diesem zusammenfiel. Aufserdem untersuchte Rudberg Verbindungen von Blei und Wismuth, bei denen der feste Punct auf 129° C.

---

1 Kongl. Vetensk. Acad. Handling. 1829. p. 157. Daraus in Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 353 u. Poggendorff's Ann. XVIII. 240. XIX. 125. Quarterly Journ. of Science. N. XI. p. 185.

fällt, der bewegliche dagegen bei $Pb^3$. $Bi^4$. zu fehlen scheint. Legirungen von Zink und Wismuth haben den festen Punct bei 251°, diejenige Verbindung aber, wo der sich bei allen zeigende bewegliche Punct wegfällt, wurde nicht aufgefunden. Rudberg entnimmt hieraus die interessante Folgerung, dafs aus dem einen Metalle und einem Theile des andern nach einfachen Atomenverhältnissen eine innige Verbindung gebildet wird, die er *chemische Legirung* nennt, der Ueberschufs des einen Metalles bleibt dann mit der chemischen Legirung mechanisch gemengt. Ist die Verbindung der Metalle so, dafs nur die chemische Legirung entsteht, so wird bei ihrer Erstarrung die latente Wärme frei, und dieses giebt den einfach vorhandenen festen Stillstandspunct; ist aber vom andern Metalle ein Ueberschufs vorhanden, so tritt durch die Erstarrung desselben der bewegliche Stilltstandspunct ein[1], obgleich das erstarrte Metall in der noch flüssigen chemischen Legirung verbreitet ist. Für Legirungen aus Blei, Zinn und Wismuth fällt der feste Stillstandspunct allezeit auf 98°, übrigens aber scheinen ternäre Legirungen gleichfalls einen festen und zwei bewegliche Stillstandspuncte zu haben, was aber noch nicht genügend untersucht worden ist.

458) Wenn nun aus dem Gesagten unzweifelhaft hervorgeht, dafs die genannten leichtflüssigen Metalle sowohl einzeln, als auch mit einander vereint beim Uebergange in den Flüssigkeitszustand Wärme binden und umgekehrt beim Erstarren frei machen, so mufste sehr daran liegen, die Gröfse der bei ihnen latent und wieder frei werdenden Wärme wenigstens annähernd eben so genau zu bestimmen, als dieses beim Eise geschehn ist. Rudberg suchte auch diese Frage zu beantworten, dabei schien ihm aber die früher von Black, Irvine und Andern befolgte Methode der Mischung mit Wasser durchaus ungenügend, weil aufser den durch die Dampfbildung des Wassers entstehenden Schwierigkeiten drei Antheile der Wärme erhalten werden, die der Metalle bis zum Puncte der Erstarrung, die beim Gestehen frei werdende latente, und die dann noch vorhandene bis zum Puncte der gemeinschaftlichen Temperatur,

1 Es versteht sich, dafs der bewegliche Stillstandspunct allezeit höher liegt, als der feste, weil alle einzelne Metalle streng-flüssiger sind, als ihre Legirungen. §. 510.

welche drei man nicht von einander zu trennen vermag. RUDBERG verwarf daher diese ältere Methode, und wählte die der Abkühlung[1]. Hierbei liefs er das zu untersuchende Metall innerhalb derjenigen Temperatur, bei welcher die Erstarrung eintritt, um 10° C. erkalten, verglich die hierzu erforderliche Zeit mit derjenigen, welche der nämliche, mit Quecksilber gefüllte, Tiegel in der nämlichen Umgebung für das Erkalten um gleiche 10 Grade bedurfte, und so gab die Vergleichung beider die durch das Erstarren frei gewordene, vorher latente Wärme, da die specifische Wärme des Quecksilbers, selbst in höheren Graden, durch DULONG und PETIT bekannt, mithin sein wirklicher Wärmeverlust mefsbar ist. Heifst die Masse des Quecksilbers m, dessen Wärmecapacität für die erforderliche Temperatur c′, so ist sein Wärmeverlust durch die Abkühlung um 10 Grade = 10 m c′; heifst ferner die Masse des erkaltenden Metalls M, dessen latente Wärme L und seine Wärmecapacität für die erforderliche Temperatur C, so ist sein gesammter Wärmeverlust = M (L + 10 C). Heifst endlich die Zeit des Erkaltens des Tiegels mit Quecksilber t, mit dem Metalle T, so erhält man

$$M(L+10C) : 10mc' = T : t$$

und mit Rücksicht auf den Tiegel, dessen Masse $\mu$ und Wärmecapacität c″ heifsen möge,

$$M(L+10C) + 10\mu c'' : 10(mc' + \mu c'') = T : t,$$

---

1 Bei der Wichtigkeit des vorliegenden Problems wird es erlaubt seyn, Folgendes zu bemerken. Auch die Methode der Abkühlung, wie sie durch RUDBERG angewandt wurde, ist für alle Körper unzulässig, deren Schmelzpunct höher liegt, als der Siedepunct des Quecksilbers, wahrscheinlich aber liefse sich die Frage durch die Methode der Mischungen auch bei diesen mit ziemlicher Genauigkeit beantworten. Darf man voraussetzen, dafs sich auch die höheren Temperaturen durch die thermoelektrischen Apparate (Bd. IX. S. 998 ff.) genau messen lassen, so darf man nur nach der Analogie des beim Eise mit so grofser Leichtigkeit in Anwendung gebrachten Verfahrens den Schmelzpunct des zu untersuchenden Metalles genau ermitteln, dann dasselbe bis zu diesem Puncte erhitzen und von demselben geschmolzenen und bis zu einer weit höheren Temperatur erhitzten Metalle so viel hinzusetzen, bis das noch starre Metall geschmolzen ist, um aus beider Massen und Temperaturen die latent gewordene Wärmemenge zu finden.

woraus

$$L = \frac{10\,(m\,c + \mu\,c'')\,T}{M\,t} - 10\,(C + \frac{\mu}{M}\,c'')$$

gefunden wird. Da der Werth von $c''$ nur klein ist und ohnehin in der Formel sowohl additiv, sls auch subtractiv vorkommt, so kann man diese Gröfse füglich vernachlässigen und erhält dann einfacher:

$$L = 10 \,.\, c' \frac{m\,T}{M\,t} - 10 \,.\, C.$$

Rudberg findet aus den Versuchen von Dulong und Petit für Quecksilber $10\,c' = 0{,}365$, d. h. dieses Metall giebt durch sein Erkalten von 230° bis 220° so viel Wärme ab, als erforderlich sein würde, 0,365 seines Gewichts um 1° C. zu erwärmen. Die Wärmecapacität des Zinns ist nach den genannten Gelehrten 0,0514, und wenn man die Zunahme derselben in höheren Temperaturen der des Quecksilbers gleich annimmt, so erhält man $10\,C = 0{,}586$. Werden diese Werthe in der Formel substituirt, worin $T = 560$ Sec., $t = 24{,}5$ Sec., $M = 252{,}97$ und $m = 421{,}16$ Gramm beträgt, so findet man

$$L = 13{,}314.$$

Für Blei ist $T = 171$ Sec., $t = 12$ Sec., $M = 372{,}05$ Gramm, $10\,c' = 0{,}385$ und $10\,C = 0{,}352$, mithin

$$L = 5{,}858.$$

Es ergiebt sich zugleich, dafs bei dieser Methode nicht blofs der Stand des Thermometers, sondern insbesondere auch die kurze Zeit der Erkaltung des Quecksilbers scharf beobachtet werden mufs, weil ein kleiner Fehler in der Bestimmung von t merkliche Unrichtigkeiten in dem Werthe von L herbeiführt.

Stellen wir hiernach die bis jetzt aufgefundenen Bestimmungen der latenten Wärme fester und tropfbar-flüssiger Körper zusammen, die allerdings von sehr ungleichem Werthe sind, so erhalten wir folgende Uebersicht.

| Substanzen | Latente Wärme absolute | relative | Beobachter. |
|---|---|---|---|
| Wasser . . . . . . . | 75,000 | 1,0000 | Lavoisier und Laplace |
| | 80,000 | 1,0000 | Black |
| | 72,000 | 1,0000 | Wilke |
| Spermaceti . . . . . | 80,555 | 1,0740 | Irvine sen. |
| weifses Wachs . . . | 87,222 | 1,1629 | Irvine sen. |
| Zinn . . . . . . . . . | 277,777 | 3,7030 | Irvine jun. |
| | 13,314 | 0,1775 | Rudberg |
| Wismuth . . . . . . | 305,555 | 3,2740 | Irvine jun. |
| Blei . . . . . . . . . | 90,000 | 1,2000 | Irvine jun. |
| | 5,858 | 0,0781 | Rudberg |
| Zink . . . . . . . . . | 273,888 | 3,6518 | Irvine jun. |
| Schwefel . . . . . . | 79,777 | 1,0637 | Irvine jun. |
| Quecksilber . . . . . | 86,666 | 1,1555 | Hassenfratz |

Bei den meisten Körpern kann man auf einfache Weise wahrnehmen, dafs sie beim Uebergange aus dem festen in den tropfbar-flüssigen Zustand Wärme binden, namentlich bei den Metallen, die verhältnifsmäfsig gute Wärmeleiter sind. Werden diese erhitzt, und darf man voraussetzen, dafs sie in ihrer ganzen Masse eine gleichmäfsige Wärme haben, so müfsten sie bei anfangendem Schmelzen sofort gänzlich flüssig werden; dagegen aber gewahrt man, dafs es eine geraume Zeit dauert, bis die letzten Antheile geschmolzen sind, auf jeden Fall eine längere, als erfordert wird, um die Wärme in das Innere der nicht geschmolzenen Massen fortzuleiten. Man könnte bei Anwendung einer constanten Wärmequelle aus der Zeit zwischen der beginnenden bis zur vollendeten Schmelzung mindestens annähernd die Quantität der latenten Wärme bestimmen.

459) Die grofse Wärmecapacität des Wassers ist in der Natur vom bedeutendsten Einflusse; denn bei der überwiegenden Menge dieser überall vorhandenen Flüssigkeit vermag sie die erzeugte zu grofse Hitze zu mildern und die zu strenge Kälte zu mäfsigen, indem sie eine so grofse Menge der erzeugten Wärme aufnimmt und bei Verminderung der Temperatur wieder abgiebt, worauf die verhältnifsmäfsig geringere Veränderlichkeit des Insel- und Küsten-Klimas beruhet; noch ungleich wichtiger aber ist der Einflufs der latenten und wieder frei werdenden Wärme beim Schmelzen und Entstehen des Eises. Wenn das Wasser durch eine auf 0° C. herabgehende Tempe-

Hhh 2

ratur ohne Abgabe seiner latenten Wärme gefröre, so würden sofort alle Flüsse und Teiche bei der ersten eintretenden, bis unter 0° C. herabgehenden Kälte in Eis verwandelt werden und Wasser wäre nur durch künstliche Heizmittel zu erhalten. Indem aber das gefrierende Wasser bei seiner Verwandlung in Eis so viel latente Wärme abgiebt, als hinreicht, eine 75mal so grofse Menge um 1° C. zu erwärmen, so gefriert allezeit nur ein kleiner Theil, während der bei weitem gröfsere die frei gewordene Wärme aufnimmt; die erzeugte Eisdecke ist aufserdem ein schlechter Leiter, durch den die frei gewordene Wärme nicht leicht dringt, und so überschreitet die Dicke des Eises unter mittleren Breiten nie 1 bis 3 Fufs, unter höheren etwa 3 bis 6 und in den kältesten Regionen der Erde nie 10 bis 12 Fufs, tiefere Landseen können aber nicht bis auf den Grund gefrieren. Ein entgegengesetzter grofser Nutzen zeigt sich beim Zergehen des Eises. Würde hierbei nicht eine so grofse Menge Wärme gebunden, so müfste beim Uebergange der Temperatur über den Nullpunct sofort die gesammte vorhandene Masse von Eis und Schnee in Wasser verwandelt werden und die furchtbarsten Ueberschwemmungen anrichten, kurz ohne die latente Wärme des Wassers würde die Erde bei den ihr eigenthümlichen Temperaturverhältnissen ganz unbewohnbar seyn. Von ihr macht man auch technischen Gebrauch. Die Landbewohner stellen im Frühjahr zum Schutze gegen die Nachtfröste Gefäfse mit Wasser unter die Bäume und führen Strohseile von den Zweigen in das Wasser herab, indem sie behaupten, das Wasser ziehe die Kälte an; ebenso stellen sie in nicht tiefen Kellern solche Gefäfse aus gleichem Grunde neben die Kartoffeln. Die Erfahrung des hierdurch gewährten Schutzes ist richtig, aber die Erklärung falsch; denn da es keine Kälte als eigenthümlichen Stoff giebt, so kann sie auch nicht abgeleitet werden, dagegen entbindet das Wasser bei seiner Verwandlung in Eis eine bedeutende Menge Wärme, welche die in seiner Nähe befindlichen Gegenstände nicht so weit unter 0° C. herabgehen läfst, als zum Gefrieren derselben erforderlich ist; die Strohseile dienen aber nicht als Ableiter, sondern sie machen die Luft minder beweglich, wenn kein Wind herrscht, und hindern dadurch das Fortführen des in der Nähe des Wassers erwärmten Theiles.

460) Eine weit gröfsere Menge Wärme wird latent, wenn

tropfbare Flüssigkeiten in Dampfform übergehn, als wenn feste Körper flüssig werden, und auch hierbei zeigt sich, daſs der Wasserdampf die gröſste Quantität latenter Wärme besitzt. Schon der Analogie nach müſsten wir schlieſsen, daſs beim Uebergange des Dampfes zur Form tropfbarer Flüssigkeit eine gleiche Wärmemenge wieder frei wird, als welche vorher gebunden wurde. Hiernach gelten folgende allgemeine *Gesetze:* 1) Feste Körper binden Wärme, wenn sie in den tropfbarflüssigen Zustand übergehen; 2) tropfbare Flüssigkeiten geben ihre latente Wärme ab, wenn sie fest werden; 3) eben dieselben binden eine noch weit gröſsere Menge von Wärme, um die Dampfform anzunehmen; 4) die Dämpfe aber geben ihre latente Wärme wieder ab, wenn sie in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit zurückkehren. Auf den beiden letzteren Sätzen beruhet die *latente Wärme* der Dämpfe und ihr Unterschied von der *sensibeln* derselben, worüber indeſs das Nöthige bereits gesagt worden ist[1], und die etwa hinzugekommenen Nachträge eignen sich daher am besten für die im folgenden Abschnitte anzustellenden Untersuchungen über die Dampfbildung. Bei der groſsen Aehnlichkeit zwischen Dämpfen und *Gasen* ist wohl nicht zu bezweifeln, daſs auch in den letzteren latente Wärme enthalten ist, die bei ihrem Uebergange zur Form tropfbarer Flüssigkeiten oder fester Körper wieder frei wird; auch berechtigen eine Menge Erscheinungen zu dieser Annahme[2], allein eigentliche Gröſsenbestimmungen sind hierüber noch nicht vorhanden.

Werden Körper, welche beim Uebergange in den Zustand der Flüssigkeit oder aus diesem in Dampfform Wärme latent machen, solchen Bedingungen ausgesetzt, wodurch diese Formveränderung ohne äuſseren Wärmezufluſs eintritt, so erkalten sie nicht bloſs selbst, sondern entziehen auch den umgebenden Gegenständen Wärme, und zwar um so viel mehr, je rascher diese Veränderung erfolgt. Dieses wurde nicht bloſs schon in älteren Zeiten wahrgenommen, sondern man benutzte auch dieses Mittel häufig zur Erzeugung *künstlicher Kälte*, wie man dieses nannte. Um beide Verfahrungsarten zu trennen, möge hier zuerst von dem Uebergange fester Körper in den Flüssigkeitszustand die Rede seyn.

---

1 S. Art. *Dampf, latente Wärme* desselben. Bd. II. S. 287 ff.
2 Vergl. Art. *Gas, Wesen der Gasform.* Bd. IV. S. 1048.

461) Das einfachste Verfahren besteht darin, dafs man einen oder mehrere feste Körper in einer geeigneten Flüssigkeit löst. Reaumur[1] bemerkte, dafs 1 Pfund Kochsalz in 3 bis 4 Pinten Wasser geschüttet dessen Temperatur um 5° bis 7°,5 C. herabsinken mache, ja es giebt noch weit ältere, wegen noch mangelnder Thermometer nicht genau gemessene Versuche dieser Art von R. Boyle[2], welcher die Verminderung der Temperatur durch die Auflösung des Salmiaks in Wasser wahrnahm und eine weit stärkere durch die Auflösung des Schnees oder Eises in Säuren oder durch Zusatz von Salzen entstehn sah. Dieser eifrige Gelehrte erlernte durch Erfahrung, was nach den Gesetzen der latenten Wärme, an die man damals noch nicht dachte, nothwendig folgt. Schnee und Eis binden zwar beim Uebergange in den tropfbar-flüssigen Zustand eine Menge Wärme, allein sie können ebenso wenig, als alle andere Körper, namentlich krystallisirte Salze, durch blofses Schmelzen eine Temperaturverminderung hervorbringen, weil sie sich nicht selbst die zum Zergehn erforderliche Wärme entziehen können, worauf beim Schnee die Fixität des Schmelzpunctes beruhet. Bringt man dagegen Wasser zu krystallisirten, ihres Krystallisationswassers noch nicht beraubten Salzen, so zergehn sie und bringen dadurch in Folge der latent werdenden Wärme, die sie den Umgebungen entziehn, Kälte hervor, die jedoch nicht tiefer herabgehn kann, als bis zu dem Puncte, bei welchem die Salze aus der gegebenen Lösung krystallisiren würden, diesen tiefsten Punct aber aus leicht begreiflichen Gründen nie wirklich erreicht. Salzwasser mit Schnee vereint befördert dagegen sein Zerfliefsen und erzeugt Kälte, noch mehr geschieht dieses durch verdünnte Säuren, welche auch mit sonstigen krystallisirten Salzen bedeutende Kälte hervorbringen. Vereinigt man zwei oder mehrere Körper, welche durch diese Verbindung zur tropfbaren Flüssigkeit übergehn, so mufs dadurch noch mehr Wärme gebunden werden, und zwar in zunehmender Progression so viel stärker, je schneller die Auflösung erfolgt. Das ganze Problem kommt also einfach darauf hinaus, diejenigen Körper aufzufinden, welche die für den jedesmaligen Zweck erforderliche Kälte am leichtesten erzeugen, und die Untersuchung darf sich

---

1 Mémoires de l'Acad. 1734.

2 Hist. experimentalis de frigore. Lond. 1665. 4. Philos. Trans. N. 15.

darauf beschränken, dasjenige nachzuweisen, was in dieser Beziehung bisher geleistet worden ist.

Zahlreiche Versuche dieser Art wurden im vorigen Jahrhundert, und zwar schon in der ersten Hälfte desselben, angestellt. Reaumur[1] brachte sein Weingeistthermometer durch 4 Theile geschabtes Eis mit 2 Theilen Kochsalz auf — 15°; Salmiak und Salpeter brachten dasselbe auf — 13° und — 11°, Steinsalz aber auf — 17°. Fahrenheit[2] schmolz Schnee durch verdünnte Salpetersäure, die beide vorher stark erkältet waren, und brachte dadurch sein Thermometer auf — 40° F.; Braun und Kraft[3], nachher Braun allein, brachten durch dieses Mittel hohe, aber wegen des gebrauchten Quecksilberthermometers nicht genau gemessene, Grade der Kälte hervor, wodurch das Quecksilber gefror. Die noch stärkere Wirksamkeit der verdünnten Schwefelsäure prüfte vorzüglich I. Mc. Nab[4] und brachte dadurch das Quecksilber gleichfalls zum Gefrieren, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, daſs ihm die groſse natürliche Kälte der Hudsonsbay ebenso, wie den Akademikern zu Petersburg die daselbst herrschende zu statten kam. Nab[5] fand die verdünnte Schwefelsäure mit Schnee am wirksamsten, demnächst rauchende Salpetersäure, weniger Kochsalz und Salmiak, am wenigsten Salpeter. Concentrirte Salpetersäure erzeugt mit Schnee verbunden anfangs Wärme, noch mehr concentrirte Schwefelsäure, weil das zuerst aus dem Schnee aufgenommene Wasser stark gebunden wird; sobald aber die dann verdünnte Säure ein rasches Schmelzen des Schnees bewirkt, wird Wärme in groſser Menge gebunden. Auch der Weingeist bewirkt ein rasches Schmelzen des Eises[6], ebenso

---

1 Mémoires de l'Acad. 1734. Viele noch ältere Beobachtungen erwähnt Cigna in Miscellanea Taurinensia. T. II. p. 143.

2 Boerhave Elem. Chym. de Igne Exp. IV. Coroll. 3.

3 Nov. Comm. Soc. Pet. T. X. p. 268.

4 Philos. Trans. T. LXXVI. p. 421.

5 An account of experiments made by Mr. J. Mc. Nab at Henley House, Hudsons Bay. By Henry Cavendish. Lond. 1786. 4.

6 Dieses wurde neuerdings vorzüglich durch Tralles wahrgenommen, welcher mit Alkohol und Schnee, beide bis 0° C. erkaltet, eine Kälte von — 30° C. hervorbrachte, und wenn der Alkohol sehr rein war, selbst bis — 36°,8. G. XXXVIII. 365. Einer Auflösung des Schnees in Alkohol bediente sich auch Parry auf der Insel Melville, um die ohnehin enorme äuſsere Kälte noch mehr zu verstärken. S. §. 506.

Salmiakgeist und alkalische Lösungen, worüber früher eine Menge Versuche angestellt worden sind, so wie mit Oelen und sonstigen Flüssigkeiten durch Geoffroy[1] und Musschenbroek[2], deren Resultate man auch ohne dieses Mittel aus dem Verhalten dieser Flüssigkeiten gegen das Wasser hätte bestimmen können. Am bekanntesten sind unter den älteren Versuchen diejenigen, welche Richard Walker[3] bekannt gemacht hat, wonach unter allen Mischungen die aus 2 Th. rauchender Salpetersäure mit 1 Th. Wasser und 4 Th. pulverisirtem Glaubersalze, wozu dann noch 3,5 Th. gepulverter Salpetersalmiak geschüttet werden, die gröfste Kälte erzeugen soll. Waren die Salze recht durchsichtig und gut gepulvert, so brachten sie das Thermometer von 0° auf — 28° C. Insbesondere beschäftigte sich auch Lowitz[4] viel mit Untersuchungen dieser Art und brachte durch Schnee mit krystallisirtem ätzenden Kali das Quecksilber selbst im warmen Zimmer zum Gefrieren. Walker[5] erreichte eben dieses im Sommer und selbst ohne Schnee. Er nahm dazu ein Gemisch aus 2 Th. rauchender Salpetersäure, 1 Th. Schwefelsäure und 1 Th. Wasser, erkältete dieses in einer kaltmachenden Mischung bis — 34° C., gofs es auf pulverisirtes, gleichfalls bis — 25° C. abgekühltes Glaubersalz, und als das Thermometer hierin bis — 47°,78 C. herabsank[6], hing er eine Glaskugel, die bis $\frac{3}{4}$ mit Quecksilber gefüllt war, hinein, worauf das Metall sofort gefror. Zu gewöhnlichen Erkältungsversuchen empfiehlt Walker[7] gleiche Theile Salmiak und Salpeter mit reinem Wasser; sie erzeugen, in hinlänglicher Quantität angewandt, leicht eine zur Eisbildung genügende Kälte, und gewähren den Vortheil, dafs man durch Abdampfen die Salze zu neuem Gebrauche wieder gewinnt. Bei späteren

---

1 Mém. de l'Acad. 1727 u. 1728.

2 Tentam. Acad. del Cimento. Lugd. Bat. 1731. 4.

3 Phil. Trans. T. LXXVII. p. 282. T. LXXVIII. p. 277. Ueb. in Gren's Journ. d. Phys. Th. I. S. 419.

4 Crell's chem. Ann. 1793. Th. I. S. 352.

5 Philos. Trans. T. LXXIX. P. II. p. 199; daraus in Gren's Journ. d. Phys. Bd. II. S. 358. S. dessen Neues Journ. Bd. III. S. 458.

6 Letztere Angabe kann auf jeden Fall nicht richtig seyn, da sie tiefer ist, als der Gefrierpunct des Quecksilbers. S. §. 504. Die Ursache liegt in der Zusammenziehung des Quecksilbers.

7 Philos. Mag. New Ser. N. III. p. 401. N. IV. p. 11. Vergl. Philos. Trans. 1801. p. 123.

Versuchen wandte er gleichfalls den salzsauren Kalk an, welchen er bereitete, indem er Salzsäure mit 3 Th. Wasser verdünnte, dann mit Kreidepulver sättigte, abklärte und zur dünnen Syrupsdicke von 1,45 spec. Gewicht abdampfte, worauf die Krystallisation bei 0° Temperatur erfolgte. Hiermit erhielt er folgende Resultate, indem er die kaltmachenden Substanzen vorher mehr oder minder tief erkältete:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 Th. salzs. Kalk, | 2 Th. Schnee | bei | 0° | gaben | — | 45,°5 C. |
| 2 — — —, | 1 — — | — | —17,5 | — | | 54,0 — |
| 3 — — —, | 1 — — | — | —40,0 | — | | 58,0 — |

Wurde der salzsaure Kalk bei Temperaturen über 0° C. bereitet, so mufste er bis 1,49 spec. Gewicht eingedickt werden. Mit solchem erzeugte er folgende Kältegrade:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 Th. salzs. Kalk, | 4 Th. Eispulver | bei | 0° | gaben | — | 40°,5 C. |
| 4 — — —, | 3 — — | — | — 6,5 | — | | 44,0 — |
| 4 — — —, | 3 — — | — | —12,0 | — | | 47,5 — |
| 3 — — —, | 2 — — | — | —26,0 | — | | 55,5 — |

Um Wasser zu gewöhnlichen Versuchen bequem gefrieren zu machen, empfiehlt Walker[1] einen sehr zweckmäfsigen Apparat. Dieser besteht aus einem weiten cylindrischen zinnernen Gefäfse mit dicken Wandungen, worein ein anderes gleich hohes mit dünnen Wandungen gesetzt wird. Dieses besteht aus zwei verbundenen concentrischen hohlen Cylindern, deren Zwischenraum das Wasser oder die zu erkältende Substanz ausfüllt, die somit an beiden Seiten von der kaltmachenden Mischung eingeschlossen ist, womit man das äufsere Gefäfs und den innern Cylinder anfüllt. Hierzu empfiehlt er gleiche Theile gepulverten Salmiak und Salpeter, die mit Wasser von 10° C. gemischt —12° C. erzeugen. Wirksamer ist folgende Mischung: 3 Unzen Salmiak; 3 Unzen Salpeter, zusammen gepulvert; 4,5 Unzen schwefelsaures Natron für sich gepulvert, alles gemengt, mit 10 Unzen Wasser von 10° gemischt; diese giebt —15°,5 C. Erstere Substanzen kann man mehrmals anwenden, die letzteren nicht. Nach Bischof[2] erzeugt eine Mischung aus 5 Th. Schwefelsäure, 3,3 Wasser und 10,4 Th. fein pulverisirtes krystallisirtes Glaubersalz eine Kälte, die bei 12° C. äufserer Temperatur bis — 25° C. herabgeht. Hat man Eis oder Schnee, natürlich oder durch Kunst bereitet, zur

1 Philos. Mag. and Ann. of Phil. N. XVIII. p. 401.

2 Schweigger's Journ. 1828. I. 370.

Disposition, so ist salzsaurer Kalk, den Lowitz[1] zuerst hierzu anwandte, am geeignetsten zur Erzeugung sehr intensiver Kälte, da diese Substanz ohnehin bei der Bereitung des ätzenden Ammoniaks als Nebenproduct in Menge gewonnen wird.

462) Die Physiker sind so fleifsig gewesen, die Gefrierpuncte der verschiedenen, schwergestehenden Flüssigkeiten aufzufinden, und haben dabei die Wirkungen der Kälte erzeugenden Mischungen in so grofser Zahl und unter so vielfachen Modificationen untersucht, dafs es ermüdend seyn würde, dieses alles einzeln aufzuführen, da die an sich einfache Aufgabe durch öftere Wiederholung ähnlicher oder gleicher Angaben nicht gewinnt. Eine, wenn auch nur kurze, Erwähnung verdienen jedoch die zahlreichen Versuche verschiedener Gelehrten, welche Gilbert[2] zusammengestellt hat, vorzugsweise aber die von Fourcroy und Vauquelin[3]. Bei — 8°,75 äufserer Temperatur brachten sie mit 3 Th. Schnee und 1 Th. Schwefelsäure (4 Th. Säure 1 Th. Wasser) — 32°,5; mit 1 Th. krystallisirtem salzs. Kalk und 2 Th. Schnee — 42°,5 und mit 8 Th. salzsaurem Kalk und 6 Th. Schnee — 48°,75 C. hervor, und machten darin unter andern das Quecksilber gefrieren. Bei — 7°,5 C. mischten sie 27 Unzen salzs. Kalk mit 18 Unzen Schnee, sahen darin das Weingeistthermometer bis — 47,5 herabgehn und brachten zwei Unzen Quecksilber zum Gefrieren, doch gelang ihnen dieses nicht mit 8 Unzen; als sie aber ein Gemenge von 8 Unzen salzs. Kalkerde und 6 Unzen Schnee in der ersten Mischung erkälteten, sank das Thermometer in der letzteren bis — 53°,75 und die 8 Unzen Quecksilber gefroren. Guyton[4] bediente sich bei seinen Versuchen einer

---

1 Nov. Acta Petrop. T. XI. Hist. p. 8. T. XII. p. 297. Crell's chem. Ann. 1793. St. I. S. 352. Ann. de Chim. T. XXII. p. 297. Den salzsauren Kalk präparirte er bei einer Temperatur unter dem Gefrierpuncte, damit er mehr Krystallisationswasser behielt. Die Krystalle pulverte er fein, siebte sie durch einen Flor oder ein Haarsieb, hob das Pulver in der Kälte auf und vermischte 3 Theile desselben mit 2 Th. lockerem Schnee, wodurch er die Temperatur leicht von 0° bis auf — 45°,5 C. herabzubringen vermochte.

2 Dessen Annalen. Bd. I. S. 479.

3 Ann. de Chimie T. XXIX. N. LXXXVII. p. 281. G. II, 107. Scherer's Journal d. Chemie. Bd. III. S. 49.

4 Ann. de Chim. T. XXXIX. p. 290.

Mischung aus 6 Th. Schnee und 9 bis 10 Th. salzs. Kalk, den er, weil er stark eingedickt war, fein pulverte und durch ein Haarsieb beutelte, van Mons aber versichert, durch eine Mischung von salzsaurem Kalk und festem kaustischen Natron eine Kälte von — 53° hervorgebracht zu haben. Durch Alkohol, und zwar absoluten, mit Schnee, beide bei 0° Temperatur, brachte Tralles[1] eine Kälte von — 37° C. hervor. Bei den in der polytechnischen Schule zu Paris angestellten Versuchen[2] wurde zuerst die Salpetersäure mit Wasser verdünnt, bis sie 1,42 specif. Gewicht hatte, dann in einer Mischung aus 3 Th. Schnee und 1 Th. Meersalz bis — 21°,25 erkältet und zum Schnee gegossen, wodurch eine Kälte von — 39° C. entstand, die das Quecksilber gefrieren machte.

Man darf wohl annehmen, daſs alle krystallinische Salze, wenn sie ihres Krystallisationswassers nicht beraubt sind, beim Zerflieſsen eine groſse Menge Wärme binden und dadurch Kälte erzeugen, denn im entgegengesetzten Falle, wenn sie zu stark ausgetrocknet sind, nehmen sie die ersten Antheile des mit ihnen vereinten Wassers so begierig in sich auf, daſs sogar der sonst so starke Kälte erzeugende salzsaure Kalk eine bedeutende Hitze entwickelt. Eine zweite Bedingung ist dann, daſs die Salze fein gepulvert sind, damit ihre Auflösung im Wasser und in verdünnten Säuren schnell erfolge; auſserdem nehmen manche derselben, namentlich der salzsaure Kalk, in der feinen Pulverform das verlorne Krystallisationswasser wieder an, weswegen man sie auf der andern Seite gegen das freiwillige Zerflieſsen sichern muſs. Die wesentlichste Bedingung des Gelingens ist aber, daſs der allerdings bedeutenden erzeugten Kälte nicht zu viele Wärme von auſsen zugeführt wird. Zu diesem Ende muſs man verhältniſsmäſsig groſse Massen anwenden, wenn die äuſsere Umgebung nicht kalt ist, denn die Oberfläche der Gefäſse, worin die kaltmachende Mischung sich befindet und in welche die Wärme von auſsen einstrahlt, wächst in einem geringeren Verhältnisse, als die darin enthaltene Masse. Am rathsamsten ist es daher, ein äuſseres tiefes und groſses Gefäſs mit kaltmachender Mischung zu wählen, in dieses ein kleineres, gleichfalls mit erkältenden Substanzen ge-

1 G. XXXVIII. 365.
2 Journ. d. l'École polyt. T. I. p. 123.

füllt, zu setzen, und in letzteres erst die zum Gefrieren oder zum tiefen Erkalten bestimmte Substanz. Unter Umständen kann man auch in das äuſsere groſse ein zweites kleineres und in dieses ein drittes, noch kleineres, alle drei mit kaltmachenden Mischungen gefüllt, setzen, wobei jederzeit das innerste zur Aufnahme derjenigen Substanz dient, deren Verhalten unter dem Einfluſs groſser Kälte man untersuchen will. Das äuſserste Gefäſs besteht am besten aus Holz, Töpferthon oder Porzellan, überhaupt aus einer schlecht leitenden Substanz, um möglichst wenig Wärme von auſsen aufzunehmen, die inneren aus dünnem Metallblech, wenn dieses durch die Säuren nicht angegriffen wird; man beginnt damit, die Mischung im äuſsersten zergehn zu lassen und dann zu den folgenden überzugehn, wenn die darin enthaltenen Substanzen möglichst erkaltet sind, wobei sich von selbst versteht, daſs die Säuren und Salze oder der Schnee, jedes für sich allein, erkältet werden müssen, ehe man sie vereinigt. Ein sehr geeignetes Verfahren besteht dann darin, daſs man mittelst gewöhnlicher Kältemischungen zuerst Eis bereitet, dieses dann zerstöſst und als stärker erkältendes Mittel nachher in Anwendung bringt. Die stärkste Kälte wird durch salzsauren Kalk und Schnee oder Eis erzeugt, indem man beide Substanzen, den salzsauren Kalk fein gepulvert, in einzelnen, durch dünne Korkscheiben getrennten Lagen über einander schichtet und sie nach möglichstem Erkälten vermischt. Diejenigen Kältegrade, welche durch die verschiedenen Substanzen erzeugt werden, sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten[1].

---

1 Aus L. Gmelin's Handbuch der theoretischen Chemie. 1827. Bd. I. S. 152.

| Substanzen. | Temperatur von | bis |
|---|---|---|
| 1 Theil Wasser mit | | |
| 1 Th. salpetersaurem Ammoniak | 10° C. | —15,°5C. |
| $\frac{5}{16}$ Salmiak u. $\frac{5}{16}$ Salpeter | 10 — | —12 — |
| 1 Th. salpetersaurem Ammoniak; 1 Th. kohlensaurem Natron | 10 — | —13,8 — |
| 0,3 Salmiak; 0,1 Salpeter; 0,6 Chlorkalium | 25 — | — 6 — |
| $\frac{5}{16}$ Salmiak; $\frac{5}{16}$ Salpeter; $\frac{8}{16}$ Glaubersalz | 10 — | —15,5— |
| 1 Th. Schwefelsäure (50 Vitriolöl, 55 Wasser) mit | | |
| 1,25 Th. Glaubersalz | 10 — | — 8 — |
| 1 Th. verdünnte Salzsäure mit | | |
| 1,6 Th. Glaubersalz | 10 — | —17,8 — |
| 1 Th. verdünnte Salpetersäure mit | | |
| 1 Th. Salmiak; 0,5 Salpeter; 1,5 Glaubers. | 10 — | —12 — |
| 1,25 Th. salpetersaur. Ammoniak und 1,5 Glaubersalz | 10 — | —10 — |
| 1,5 salpetersaurem Ammoniak und 2,25 phosphors. Natron | 10 — | — 6 — |
| 2,25 phosphorsaurem Natron | 10 — | —11 — |
| 1,5 Glaubersalz | 10 — | —16 — |
| 1 Th. Schnee oder zerstoſsenes Eis mit | | |
| $\frac{1}{3}$ Schwefelsäure (4 Vitriolöl 1 Wass.) | 0 — | —32,5 — |
| 1 Th. verdünnte Schwefelsäure | — 7 — | —51 — |
| $\frac{1}{2}$ Th. verdünnte Salpetersäure | — 23 — | —49 — |
| 1 Th. verdünnte Salpetersäure | — 17,8 — | —43 — |
| 1,3 Th. krystallis. Kali | 0 — | —28 — |
| 1 Th. Kochsalz | 0 — | —17,8 — |
| 1,3 salzsaurem Kalk | 0 — | —49,0 — |
| 1,5 salzsaurem Kalk | 0 — | —27,8 — |
| Weingeist | 0 — | —10 — |
| 0,625 Salzsäure | 0 — | —33 — |
| 0,416 Kochsalz; 0,416 salpeters. Ammoniak | 0 — | —31 — |
| 0,4 Kochsalz; 0,2 salzs. Ammoniak | 0 — | —24 — |
| 0,42 Kochsalz; 0,21 Salmiak; 0,21 Salpeter | 0 — | —28 — |
| 0,375 verdünnte Schwefelsäure; 0,375 verdünnte Salpetersäure | — 23 — | —48 — |

463) Da bei der Dampfbildung flüssiger Körper ungleich mehr Wärme latent wird, als beim Uebergange der festen in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit, so muſs durch künstlich beförderte Verdampfung auch eine noch gröſsere Kälte erzeugt werden, als durch schnelles Schmelzen. Auſserdem hat die durch Auflösungen erzeugte Kälte bestimmte Grenzen, die aber nicht zu erreichen sind, weil allezeit Wärme von auſsen zu-

strömt. So gefriert Salzsoole, je nach ihrer Concentration, bei tieferen Graden, für gesättigte kann etwa — 20° C. angenommen werden, und es ist daher unmöglich, eine gröfsere Kälte durch Salz und Schnee zu erreichen, die sich bei tieferen Temperaturen nicht mehr auflösen würden. Verdünnte Säuren gefrieren bei tieferen Graden nicht, man kann daher gröfsere Kälte durch sie erzeugen; die stärkste durch salzsauren Kalk und Schnee, welche bis — 60° reichen soll. Dagegen findet Verdampfung unausgesetzt statt, und die absolute, dadurch zu erzeugende Kälte läfst sich daher nicht bestimmen, aber auch wegen hindernder Bedingungen nicht erreichen.

Dafs durch Verdunstung Kälte erzeugt werde, mufs wohl schon in den ältesten Zeiten wahrgenommen worden sein, und daher erwähnt auch Musschenbroek [1] als ein bekanntes Phänomen, dafs eine mit Wasser benetzte Thermometerkugel, wenn Luft von gleicher Temperatur dagegen geblasen wird, eine Abnahme der Wärme zeigt; die Sache scheint jedoch erst dann beachtet worden zu seyn, als man vermittelst der Thermometer auch die geringeren Temperaturverminderungen zu messen vermochte, wobei man die seltsamsten Hypothesen über die Ursache dieses Phänomens aufstellte. Richmann [2] nahm wahr, dafs ein Thermometer, dessen Kugel mit Wasser benetzt war, so lange Kälte anzeigte, bis alles Wasser verdunstet war, und leitete dieses von den in der Luft schwebenden kaltmachenden Theilen ab, Mairan [3] dagegen von der Bewegung des die Thermometerkugel umgebenden Wasserhäutchens. Ohne die eigentliche, hierbei wirksame Ursache genauer anzugeben, stellten Baume [4] und hauptsächlich Cavallo [5] mehrere Versuche an, die ihnen die bei verschiedenen Flüssigkeiten sehr ungleiche Verdunstungskälte zeigten, namentlich die sehr starke durch Schwefeläther erzeugte. So brachte Letzterer mitten im Sommer hierdurch das Thermometer innerhalb zwei Minuten von 18° C. auf — 16° herab, wobei er bemerkte, dafs das Thermometer im Wasser bis — 7°,75 herabsank, ehe Eisbildung erfolgte, statt dafs diese

1 Essai de Physique §. 962.

2 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 290. Nouv. Mém. de Petersb. Ann. 1747 u. 48. p. 284.

3 Dissert. sur la glace. P. II. Sect. II. cap. 8 u. 9.

4 Mémoires présentés T. V. p. 405.

5 Philos. Trans. T. LXXI. P. II.

im Winter schon bei — 1° eintrat. Der Erste, welcher die Verdunstung als nächste Ursache der Kälteerzeugung angab, scheint CULLEN[1] gewesen zu seyn, und so fanden denn auch CIGNA[2], BRAUN[3], ACHARD[4], LAVOISIER[5] und Andere, dafs die erzeugte Kälte mit der Stärke der Verdunstung wachse, denn in Oele oder Säuren getaucht zeigte das Thermometer gar keine Kälte, mit concentrirten Säuren sogar Erhitzung. Schnelles Erneuern der Luft verstärkt die Verdunstung und erhöht dadurch die erzeugte Kälte, weswegen ACHARD bei seinen Versuchen, das Quecksilber gefrieren zu machen, die Wirkung der künstlichen Kältemischungen durch Benetzen mit Schwefeläther, gegen den er stets Luft blies, zu verstärken suchte. Die Erzählung[6], dafs man durch bloſse Verdunstungskälte das Quecksilber zum Gefrieren gebracht habe, erklärte übrigens BRAUN[7] für eine Fabel, weil dadurch nur eine Kälte von — 15° nach de l'Isle zu erreichen sey. Als schon die Lehre vom latenten Wärmestoff anfing bekannt zu werden, schwankten die Physiker noch, ob sie das Latentwerden der Wärme in Folge der Dampfbildung oder die *Expansion der Luft* als Ursache der erzeugten Kälte betrachten sollten. DARWIN[8] neigt sich mehr zur letzteren Ansicht, denn er erinnerte, dafs der Luftstrom aus einer Windbüchse das Thermometer um mehrere Grade fallen mache, auch sinke dasselbe unter der Campane der Luftpumpe um 2 bis 3 Grade, wenn man exantlire. In den bleiernen Windkessel einer Wasserkunst zu Derby war ein Loch von der Gröfse einer Rabenfeder gebohrt, und wurde dann ein Thermometer der daraus strömenden Luft ausgesetzt, so sank es mehrere Grade, wogegen GRUBER[9] erinnerte, dafs die mechanische Ausdehnung

1 Neue Edinburgische Versuche. 1756. Bd. II. S. 145. Ebend. 1776.

2 Dieser zählt eine Menge ältere Beobachtungen auf und vermehrt sie durch eigene. S. Miscellanea Taurinens. T. II. p. 151.

3 Nov. Comm. Petrop. T. X. p. 309. In Hamb. Magaz. Bd. IV. S. 369.

4 Beschäftigungen d. Berl. naturf. Ges. 1775. Bd. I. S. 112. Journ. de Ph. T. XVI. p. 174.

5 Mém. de l'Acad. 1777. p. 425.

6 In Gentleman's Magazine. 1761. p. 403.

7 Nov. Comm. Pet. T. XI. p. 318.

8 Pilos. Trans. 1788. T. LXXVIII. p. 43. Gren's Journ. Bd. 1. S. 73. Gothaisches Magaz. Th. VII. St. 1. S. 127.

9 Gren's Journ. d. Phys. Bd. III. S. 188.

der Luft nicht unmittelbare Ursache der Kälte seyn könne, weil sonst im Boyle'schen und Torricelli'schen Vacuum noch gröſsere Grade der Kälte herrschen müſsten, die weggeschaffte Luft dagegen führe die Wärme mit sich fort; was eigentlich so gut wie nichts gesagt ist. Cavallo[1] lieſs bei seinen Versuchen den Aether aus einem in ein Haarröhrchen endigenden Trichter auf die Thermometerkugel tröpfeln, und erhielt dann durch stetes Zuführen frischer, nicht mit Dampf erfüllter, Luft einen hohen Grad von Kälte, de Saussure[2] aber befestigte auf dem Col du Géant an der Kugel seines Thermometers einen feuchten Schwamm und schwenkte das Thermometer an einer Schnur mit gröſster Schnelligkeit in der Luft, wodurch er eine Erkältung von 10 Graden zu erzeugen vermochte; wenn er aber die Kugel eines kleinen Thermometers mit feiner Leinwand umwickelte, in Aether tauchte und nach dem Herausziehen mäſsig schnell in der Luft bewegte, so konnte er eine Erkältung von 33 bis 34 Graden hervorbringen. Unter die älteren Versuche, welche sämmtlich aufzuzählen kaum die Mühe lohnt, gehören ferner die von Baux[3], welcher ein mit Wasser befeuchtetes Thermometer sinken sah, und die von Franklin[4], welcher eben dieses mit Weingeist bewerkstelligte. Wasser und viele andere Flüssigkeiten verdunsten stets, und die Geneigtheit der Wärme, mit ihnen Dampf zu erzeugen, ist so groſs, daſs die Oberfläche der Seen und des Meeres bei vorhandener Ruhe sich stets etwas kälter zeigt, als die übrige Wassermasse; bedeutend verstärkt wird aber diese Wirkung, wenn die vertheilten Flüssigkeiten eine groſse Oberfläche darbieten. Unter andern maſs G. Bischof[5] die Temperaturen in der Nähe des Staubbachs, und fand neben dem Wasserfalle 8°,5 C., vor der Auberge 11°, die Temperatur des Wassers 50 Fuſs vom Falle 8°,75, die der Quellen in derselben Höhe aber 11°,1; 11°,25 und 13°,75, woraus die durch die Verdampfung erzeugte Kälte sichtbar hervorgeht. Hierhin gehört auch die Abkühlung des Trink-

---

1 Voigt's Magazin. Bd. II. S. 242.

2 Journ. de Phys. 1789. Mars. Uebers. in Gren's Journ. d. Phys. Bd. I. S. 460.

3 Hist. de l'Acad. 1753.

4 Rozier Observat. T. II. p. 276 u. 483. Er stellte die Versuche mit Dr. Simpson zu Glasgow an.

5 Biblioth. univ. 1836. p. 384.

wassers, die man in Spanien durch die *Alcarazzas* bewirkt. Diese Krüge sind nach SALLIOR's[1] Beschreibung 1 Fuſs hoch, 0,5 Fuſs weit, unten bauchig und oben enger[2]. Sie sollen auch in der Berberei und Aegypten gewöhnlich seyn und kamen vermuthlich durch die Mauren nach Spanien. FABBRONI[3] hat sie untersucht und bemerkt, daſs sie gerade so porös seyn müssen, um genau so viel Wasser zur Oberfläche durchzulassen, als stets verdunstet, wodurch dann eine bedeutende Abkühlung bewirkt wird. Als er bei 21°,25 C. äuſserer Temperatur drei Alcarazzas, die beinahe 50 Pfund Wasser enthielten, und neben diesen drei ungefähr gleich groſse kupferne Gefäſse der freien Luft aussetzte, nahm das Wasser in den letzteren sehr bald die Temperatur der Umgebung an und erhielt sich auch dabei, das in den ersteren aber sank auf 16°,25 bleibend herab. Die Erkaltung wird noch stärker, wenn man sie einem beträchtlichen Luftzuge aussetzt. Ebenso pflegen die Seefahrer ihr Getränk dadurch abzukühlen, daſs sie die Flaschen mit nassem Segeltuch umgeben und im Tauwerk aufhängen. Die Jäger pflegen, um die Windrichtung zu ermitteln, einen Finger im Munde naſs zu machen, dann vertical in die Höhe zu halten und aus dem durch den Luftzug merklich erkalteten Streifen diese Richtung zu entnehmen. Hauptsächlich zeigt sich die Verdunstungskälte wirksam bei der bekannten *Eisbildung zu Benares* in Ostindien, worüber WILLIAMS[4] Folgendes berichtet. Ein ausgedehntes, etwa 4 Acres haltendes, Feld ist 4 Zoll hoch mit Stroh oder Schilfrohr belegt, auf welchem zahllose, an 100000 betragende flache, unglasirte, irdene Gefäſse ausgestellt sind, so porös, daſs sie durch hineingegossenes Wasser sogleich auswärts feucht werden. Mehrere hundert Menschen füllen sie Abends mit Quellwasser und nehmen am andern Morgen um 5 Uhr die gebildete Eiskruste heraus, welche sich leicht ablösen läſst, weil die innere Seite der Gefäſse mit Butter bestrichen ist. Das Stroh muſs trocken seyn, sonst ist die Eisbildung, die unter günstigen Umständen über einen Zoll

1 Décade philos. An VI. Frim. 30. Ann. de Chim. T. XXV. p. 167.

2 Die ich selbst gesehen habe, sind von schmutzig weiſs-gelblichem Thon und gleichen einer sehr groſsen Calebasse.

3 Journ. de Phys. T. VI. p. 228. G. III. 232.

4 Phil. Trans. T. LXV. p. 252. LXXXIII. p. 56 u. 129. Gren's Journ. Th. VIII. S. 409.

Dicke erreicht, minder stark; sie wird vorzüglich durch einen kühlen Wind befördert, welcher sich gegen Morgen erhebt, denn die Temperatur des Strohes kommt nie unter 2° C., ist aber wegen der über ihm statt findenden Verdunstung stets um etwa 2° C. niedriger, als die der höheren Luftschichten. Williams füllte zwei alte Gefäſse, deren Poren verstopft waren, und zwei neue mit Wasser aus einem tiefen Brunnen, dessen Temperatur 23°,34 zeigte, stellte sie gegen Abend an einen schattigen Ort, dessen Temperatur 35° war, und bemerkte, daſs die Wärme des Wassers in den alten Gefäſsen nach 4 Stunden bis 31°,1 gestiegen war, statt daſs sie in den neuen sich fortdauernd bei 20° erhielt[1].

464) Schnelle und starke *Ausdehnung expansibeler Flüssigkeiten* bindet Wärme, so wie ihre Zusammendrückung sie frei macht, ohne daſs jedoch die Gröſse der hierdurch gebundenen Wärme bis jetzt genau bestimmt wurde (§. 111); wenn aber das zweite Mittel der Kälteerzeugung, nämlich das der Dampfbildung, hiermit verbunden ist, so wird es hierdurch möglich, die Temperatur ausnehmend tief herabzubringen, ein Mittel, worauf Leslie zuerst die Aufmerksamkeit der Physiker richtete, die dasselbe nachher zu höchst interessanten Versuchen benutzten. Bloſse Ausdehnung expansibeler Flüssigkeiten kann keine bedeutende Wärmeabsorption bewirken, weil die Wärme dem allgemeinen Gesetze ihres Verhaltens gemäſs der Anziehung zur Materie folgt, die hierbei fehlt, indem der Raum als solcher nicht eigentlich Wärme zu enthalten scheint (§. 301). Robinson[2] will aber gefunden haben, daſs Luft, deren Volumen er um ein Drittel vergröſserte, eine Erkältung von 10°,5 bis 11°,1 C. hervorbrachte; auch nahm schon Cullen[3] wahr, daſs schnelles Exantliren der Luft Kälte erzeuge, was de Saussure[4] durch Versuche bestätigte; in der Regel aber darf man voraussetzen, daſs bei bedeutender, durch Expansion der Luft erzeugter, Kälte Dampfbildung als vorzügliche oder mitwirkende

---

1 Vergl. die Art. *Ventilator* und *Verdunstung*. Daſs man die Erscheinung später aus der *Strahlung* der Wärme gegen den leeren Himmelsraum ableitete, möge hier beiläufig bemerkt werden.

2 Mechanical Philosophy. T. II. p. 166.

3 Essays of the Society of Edinburgh. T. II. p. 153.

4 Journ. de Physique. T. IV. p. 186. Vergl. Lambert's Pyrometrie S. 267.

Ursache vorhanden ist. Dahin gehören ohne Zweifel die Versuche Ewart's [1], welcher Kälte durch die Expansion verdichteter Gase und Dämpfe entstehen sah, diese Erscheinung aber davon ableitete, dafs die zusammengedrückten Molecüle der Gase, wenn der Druck nachläfst, nach dem Gesetze der Trägheit wie zwei durch eine Feder ausgespannte Kugeln sich weiter entfernen. Niederschlag der Dämpfe und Wiedererzeugung derselben ist vermuthlich auch bei dem Apparate mitwirkend, wodurch Hare [2] die durch Compression der Luft entbundene und durch ihre Expansion wieder absorbirte Wärme anschaulich macht. An einer Glasröhre bb befindet sich eine Kugel a, in deren Mitte die kleine Kugel eines empfindlichen Thermometers enthalten ist; das andere Ende der Röhre hat eine etwas grofse Blase von Federharz A, welche mit Luft erfüllt und dadurch ausgespannt festgebunden ist. Drückt man die Blase heftig zusammen, so wird die Luft in der Kugel a comprimirt und das Thermometer $\alpha\beta$ zeigt die Entbindung von Wärme an; erhält man sie aber eine Zeit lang in diesem Zustande, bis die Temperatur sich wieder ins Gleichgewicht gesetzt hat, und läfst dann mit dem Drucke nach, so dehnt sich die Blase A und die im ganzen Apparate enthaltene Luft wieder aus und das Thermometer zeigt entstehende Kälte. Der Apparat ist zwar einfach und bequem, aber das Phänomen, was er zeigt, ist nicht einfach, da auf jeden Fall der mechanische Druck auf die Thermometerkugel mitwirkt. In vielen Fällen hat aber die neben der Expansion statt findende Dampfbildung einen bedeutenden Einflufs auf die entstehende Kälte. Die oben (§. 114) erwähnte Eisbildung durch Expansion der comprimirten Luft gelingt am leichtesten, wenn die Luft sehr feucht ist, auch hört man unter dieser Bedingung das Anstofsen kleiner, durch den geöffneten Hahn ausgetriebener Eisstückchen. Ebenso erzählt Pictet [3], dafs, wenn feuchte Luft aus einer Compressionspumpe entweicht und etwas Wasser mit sich fortreifst, dieses am Hahn gefriert. Dahin gehört dann auch die bekannte Eisbildung durch das Ausströmen der sehr feuchten Luft

Fig. 66.

1 Philos. Magaz. and Ann. of Phil. T. V. p. 247. Biblioth. univ. T. XLI. p. 117.

2 Silliman's Amer. Journ. T. XIII. p. 7.

3 Scherer's Journ. Th. III. S. 481.

aus der *Höll'schen Maschine* zu Schemnitz, wovon bereits die Rede war[1].

465) Die Dampfbildung wird befördert, wenn der entstehende Dampf kein auf der Flüssigkeit ruhendes Medium heben oder in dieses beim Aufsteigen dringen muſs, sondern sich im leeren Raume frei ausbreiten kann. Man kannte daher längst das stärkere Verdampfen im luftleeren oder luftverdünnten Raume, und hierauf gründete J. T. Mayer[2] das von ihm angegebene, allerdings sichere Verfahren, selbst im heiſsen Sommer Wasser zum Gefrieren zu bringen. Er füllte zu diesem Ende ein längliches Gläschen nicht ganz voll mit Aether, band eine Thierblase darüber, die mit einer Nadel an einigen Stellen durchstochen war, setzte es in ein anderes, etwas weiteres Gläschen, füllte den engen Zwischenraum zwischen beiden mit Wasser, und setzte beide in ein drittes geeignetes Glas, in welchem sich gleichfalls Aether befand. Wurde dann diese Vorrichtung unter eine Campane gestellt und 8 bis 10 Minuten lang exantlirt, so gefror das Wasser durch die Kälte des in beiden Gefäſsen verdunstenden Aethers. Aehnliche, zu gleichem Zwecke dienende Apparate haben Grotthuss[3] und Vogel[4] in Vorschlag gebracht. Alle früheren Verfahrungsarten wurden aber weit übertroffen durch die von John Leslie[5] angewandte, welche darin besteht, nicht bloſs durch den luftverdünnten Raum die Verdampfung zu erleichtern, sondern zugleich den erzeugten Dampf durch eine ihn absorbirende Substanz schnell wegzuschaffen und somit die stets fortdauernde neue Bildung desselben zu befördern. Auf diese Weise wurde es möglich, das Wasser durch seine eigene Verdampfung gefrieren zu machen; denn obgleich sein Siedepunct höher liegt, als der mancher anderen, starke Kälte erzeugenden Flüssigkeiten, so ist dagegen auch die latente Wärme des Wasserdampfes unter allen die gröſste[6].

---

1 S. Art. *Pumpe*. Bd. VII. S. 976. Vergl. G. XVIII. 412.

2 Gren's neues Journ. Th. II. S. 358.

3 Allgemeine nord. Annalen. Th. II. S. 6.

4 Bulletin de Pharmacie. 1811. Août.

5 Biblioth. Britann. T. XLVI. p. 314. Schweigger's Journ. Th. II. S. 209. G. XLIII. 373. Annales de Chim. 1811. Mai. Philos. Magaz. 1818. Jun. Biblioth. univ. T. VIII. p. 196.

6 Gay-Lussac wiederholte das von Leslie vorgeschlagene Verfahren und brachte dadurch das Quecksilber zum Gefrieren, wobei

Leslie's Verfahren besteht darin, das Wasser, welches gefrieren soll, in einem flachen Gefäfse über einem weiteren, mit Schwefelsäure gefüllten, unter der Campane einer Luftpumpe aufzustellen und zu exantliren. Er wandte gewöhnlich eine hundertfache Verdünnung an, doch genügt auch eine funfzigfache, und beim Mangel einer guten Luftpumpe, oder wenn man die Sache in kurzer Zeit zeigen will, kann man einen nassen Schwamm über der Schwefelsäure aufhängen, welcher sehr schnell gänzlich erstarret. Ist das Eis einmal gebildet, so kann das Vacuum weniger stark seyn, je luftleerer aber der Raum ist, desto stärker dauert die Verdunstung auch des Eises fort, welches viele Grade unter dem Eispuncte, fast bis zum Gefrierpuncte des Quecksilbers erkaltet und dadurch allmälig verschwindet, bis es nach einigen Tagen, je nach der Gröfse der Massen, gänzlich verzehrt ist. Will man durch Verdunstung des Eises das Quecksilber zum Gefrieren bringen, wobei aber wohl die Campane von aufsen abgekühlt werden mufs oder mehrere, zunehmend gröfsere Campanen über einander auf den Luftpumpenteller gestellt werden, so umgiebt man ein etwas Quecksilber enthaltendes Röhrchen zuerst mit einer Eisrinde, indem man es unter der Campane im Vacuum wieder-

---

er jedoch die Campane von aufsen durch eine Mischung von Schnee und Kochsalz abkühlte. Um den Grad der durch Verdunstung erzeugten Kälte zu bestimmen, schlägt er folgende Formel vor. Es sey x die Gröfse der Erkältung in Centesimalgraden; l die latente Wärme des Dampfes; $\varphi(x)$ die Elasticität des Dampfes bei der Temperatur x; $\delta$ die Dichtigkeit des Dampfes gegen Luft als Einheit; t die Temperatur der Luft in Centesimalgraden; p ihr Druck in Metern; c ihre Wärmecapacität gegen die der Flüssigkeit als Einheit genommen, so ist:

$$\varphi(x)\,\delta\,l = \left\{p - \varphi(x)\right\}(t - x)\,c\,.$$

Diese Formel kommt vorzüglich in Anwendung, wenn eine Gasart über eine nasse Thermometerkugel hinströmt und man deren specifische Wärmecapacität zu bestimmen wünscht, s. §. 382. Auf Wasser angewandt nimmt Gay-Lussac die latente Wärme des Wasserdampfes $l = 550^\circ$ C. (wobei aber vom Siedepuncte an zu rechnen wäre, vergl. §. 406 ff.), die Dichtigkeit desselben $\delta = \frac{10}{16}$; die Wärmecapacität der Luft (nach Delaroche und Bérard) c = 0,2669, und nach Laplace:

$$\varphi x = 0{,}76^{m}\,(10)^{x\,.\,0{,}0154547\,-\,x^2\,.\,0{,}0000625826},$$

s. Ann. de Chim. T. XXI. p. 82.

holt in ein Gefäſs mit Wasser über Schwefelsäure taucht und das anhängende Wasser gefrieren läſst; dann nimmt man das Wassergefäſs weg, senkt das Röhrchen bis 0,5 Zoll Abstand über die Oberfläche der Schwefelsäure herab und exantlirt bis auf 0,1 Zoll der Barometerprobe. Leslie nahm statt der Schwefelsäure auch salzsauren Kalk, fand diesen aber weniger wirksam, ebenso getrockneten und pulverisirten Trapp-Porphyr, auch getrocknetes feines Hafermehl, die zwar einige, aber weit geringere Wirkungen äuſserten[1]. Er beabsichtigte auſserdem, dieses Verfahren für technische und ökonomische Zwecke zu benutzen, denn er nahm ein Patent darauf, und wirklich hat man es später häufig nicht bloſs zum Austrocknen und zum Eindicken von Säften angewandt, sondern auch Pumpen im Groſsen ausgeführt, die durch Dampfmaschinen getrieben werden und in Ostindien dazu dienen, Eis zur Abkühlung der Getränke zu bereiten, was keinen groſsen Aufwand erfordert, da sich die angewandte Schwefelsäure zum neuen Gebrauche in Platinschalen wieder abdampfen läſst. Daſs Physiker und Chemiker häufig dieses Mittel zur schnellen Bereitung kleiner Quantitäten Eis benutzen, ist eine jetzt genügend bekannte Sache.

466) Leslie's Entdeckung wurde mit groſsem Beifall aufgenommen, und wohl alle Physiker machten sich das Vergnügen, die einfache Erscheinung selbst wahrzunehmen, mehrere verfolgten sie aber in ihren verschiedenen Modificationen oder strebten danach, sie zu technischen Zwecken mit Vortheil anzuwenden, wie Clement und Desormes[2], die dadurch Montgolfier's Verdampfungsapparat[3] ersetzen wollten. Ausführlich wurde aber das Problem behandelt durch Configliachi[4], welcher nach erhaltener kurzer Notiz sogleich den Versuch wiederholte und nach dem Gelingen desselben die Sache weiter verfolgte. Zuerst umgab er eine Thermometerkugel mit einem nassen Schwamme, erzeugte ein starkes Vacuum, sicherte die Campane, worin das Thermometer an einem Seidenfaden auf-

1 Philos. Magaz. 1817. Apr. u. Juli. Bibl. univ. T. VI. p. 85.

2 Ann. de Chim. 1811. Mai. G. XLIII. 378.

3 Vergl. Art. *Verdunstung*. Bd. IX. S. 1735.

4 Memoria sul freddo produtto cet. Pavia 1811. Journ. de Phys. T. LXXVI. p. 258. Brugnatelli Giorn. T. IV. p. 208 u. 287. G. XLIII. 341. Schweigger's Journ. II. 335. IX. 54.

gehangen war, durch eine zweite darüber gestürzte gegen den Einflufs der von aufsen zuströmenden Wärme, und erreichte dadurch, dafs das Wasser im Schwamme ohne vorhandene hygroskopische Substanz in Eis verwandelt wurde. Freies Wasser in kleinen Gefäfsen konnte er selbst, wenn der Recipient auswärts durch verdampfenden Weingeist erkältet wurde, nicht zum gänzlichen Gefrieren bringen, wohl aber zum Anschiefsen einiger Eisnadeln. Unter den nachher angewandten hygroskopischen Substanzen fand er die concentrirte Schwefelsäure am wirksamsten und brachte, indem er ein mit derselben gefülltes Gefäfs unter den nassen Schwamm oder unter das Schälchen mit Wasser stellte, die Eisbildung vollständig ohne Schwierigkeit zu Stande. Als bei einem Versuche mit dem Schwamme das Vacuum bis auf 1,1 Millim. gebracht war, sank das Thermometer nach vollendeter Eisbildung bis — 37° C. Nach vielen vergeblichen Versuchen, indem er die Thermometerkugel mit einem in Wasser getränkten Schwamm umgab, mehrere Gefäfse mit Schwefelsäure in ungleichen Höhen darunter stellte und den Recipienten äufserlich durch Aether abkühlte, gelang es ihm, bei 20° C. äufserer Temperatur und einem bis 0,56 Millim. gebrachten Vacuum das Quecksilber gefrieren zu machen, wie sich dadurch zeigte, dafs es lange auf — 40° C. stehen blieb und dann plötzlich um 12° herabsank; es schmolz jedoch vor dem Herausnehmen wieder, und er konnte es nicht im gefrorenen Zustande zur Untersuchung erhalten. Configliachi stellte dann eine Reihe von Versuchen mit sonstigen, den Wasserdampf absorbirenden Substanzen an, deren Resultate folgende Tabelle übersichtlich zeigt, wobei zu bemerken ist, dafs die Verdampfung derselben der Erzeugung eines genauen Vacuums entgegenstand und daher die Erlangung tiefer Kältegrade hinderte. Die Thermometerkugel war allezeit mit einem nassen Schwamm umgeben; die äufsere Temperatur betrug 20° C.

| Substanzen | Kälte | Barometer Millim. | Wasser gefror |
|---|---|---|---|
| feste Phosphorsäure . . . | 1°,5 C. | 6,765 | nicht |
| trocknes kaust. Kali . . | —3,0 — | 2,818 | gänzlich |
| essigsaures Kali, säuerlich | —2,0 — | 3,945 | zum Theil |
| neutral . | —3,0 — | 3,382 | zum Theil |
| getrocknet | —2,75— | 3,199 | gänzlich |
| basisch . | —3,0 — | 3,066 | gänzlich |
| chlors. Kali, krystallis. . . | 2,0 — | 7,328 | nicht |
| nicht krystallis. . . | —2,5 — | 3,199 | gänzlich |
| salpeters. Ammoniak, krystall. | 5,0 — | 7,992 | nicht |
| schwefels. Natron, trocken | 8,0 — | 9,020 | nicht |
| Schwefelsäure . . . . | -18,5 — | 0,751 | gänzlich |

Die Folgerungen hieraus ergeben sich von selbst, doch verdienen folgende Bemerkungen beachtet zu werden. Bei grofser äufserer Wärme ist es vortheilhaft, den Recipienten zu benetzen und mit einem Blasebalge dagegen zu blasen. Weil sich die Schwefelsäure erhitzt, so stellt man das Gefäfs derselben am besten auf den Teller der Luftpumpe und bringt das Wasser in einige Höhe darüber. Eine vorausgehende Erkältung des Wassers bringt geringen Vortheil, denn es gefror auch, wenn es vorher 85° C. zeigte. Die Wirkung erfolgt in einem kleineren Recipienten schneller, als in einem grofsen. Die Menge des verdunstenden Wassers, wodurch der Rest gefriert, beträgt ungefähr ein Achtel, was mit der Theorie nahe genug übereinstimmt; denn setzt man von 0° C. ausgehend die latente Wärme des Wassers = 75 und die des Dampfes = 650, so ist deren Verhältnifs nahe genau = 1:9, und $\frac{1}{9}$ würde also zur Erreichung des Gefrierens noch nicht genügen, zumal wenn das Wasser über 0° C. erwärmt ist.

467) Configliachi untersuchte darauf die durch das Verdunsten noch flüchtigerer Flüssigkeiten entstehende Kälte. Zuerst umgab er die Kugel eines Quecksilberthermometers mit einem in Schwefeläther von 0,74 spec. Gewicht getauchten Schwamme, brachte ihn ohne absorbirendes Mittel unter eine Campane, und als er bemerkte, dafs dasselbe unter den Gefrierpunct des Quecksilbers herabsank, nahm er eine Kugel an einer Thermometerröhre, welcher Apparat so eingerichtet war, dafs das Quecksilber beim Gestehen ganz in die Kugel herabsank, und es gelang ihm damit, bei einer äufsern Temperatur

von 25° C. das Quecksilber mehrmals zum Gefrieren zu bringen, so dafs es gegen 4 Minuten in diesem Zustande blieb, indem es beim Zerschlagen der Kugel abgeplattet war. Den Schmelzpunct desselben setzt er bei — 36° C., doch mufs die Kälte bis — 39°,25 herabgehn, wenn das Gefrieren eintreten soll. Da er glaubte, dafs concentrirte Schwefelsäure auch Aetherdampf absorbiren werde, so stellte er ein damit gefülltes Gefäfs unter das auf die angegebene Weise vorgerichtete Thermometer, stürzte über die Campane noch eine zweite, kühlte diese durch Weingeist und Blasen mit einem Blasebalge ab, und sah das Thermometer binnen 10 Minuten bei 21°,25 äufserer Temperatur im Vacuum von 2,25 Millim. Quecksilber bis — 51°,25 C. herabgehn, wobei der Aether gefroren war. Als er darauf Salzäther, Salpeteräther, Alkohol und Ammoniak auf gleiche Weise anwandte, ging die Barometerprobe tiefer herab, das Quecksilber aber konnte er nicht gefrieren machen. Auch bei diesen Flüssigkeiten wurde die Wirkung durch Schwefelsäure vermehrt, bei der Anwendung des Ammoniaks aber wurde diese zum Nachtheile des Versuches stark erhitzt; befand sich der Aether in einer Schale, so ging seine Temperatur nicht unter — 28° C. herab. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der mit und ohne Schwefelsäure erzeugten Kältegrade. Das specifische Gewicht der angewandten Schwefelsäure war 1,85, die Wärme der Flüssigkeiten beim Anfange der Versuche 15° C.; die Barometerhöhe ist in Millimetern angegeben.

| Flüssigkeiten | Ohne Schwefelsäure | | | Mit Schwefelsäure | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Spec. Gew. | Barometer | Temperatur | Barometer | Temperatur |
| Schwefeläther . . | 0,70 | 4,5 | —42°,00 | 3,20 | —48°,00 |
| Salzäther . . . . . | 0,80 | 4,25 | — 25,75 | 3,00 | — 30,00 |
| Salpeteräther . . . | 0,86 | 3,58 | — 20,25 | 2,86 | — 31,25 |
| Alkohol . . . . . | 0,81 | 3,96 | — 22,50 | 2,22 | — 37,50 |
| Ammoniak . . . . | 0,91 | 2,98 | — 19,00 | 2,75 | — 24,00 |

468) Nach Bekanntwerdung dieser interessanten Versuche wurden ähnliche von verschiedenen Gelehrten angestellt und zum Theil bekannt gemacht, von denen hier nur die wichtigsten erwähnt werden mögen. Sehr ausführlich erzählt Bellani[1] die durch ihn geschehene Wiederholung derselben, allein

1 Brugnatelli Giorn. T. IX. p. 102. 188. 417.

die erhaltenen Resultate setzen dem Bekannten nichts Neues hinzu. Wichtig sind dagegen die Versuche, welche GAY-LUSSAC[1] anstellte, indem er getrocknete Luft gegen eine mit Wasser benetzte Thermometerkugel blasen liefs und das dadurch erzeugte Maximum der Erkaltung unter die Temperatur der Umgebung mit der theoretischen Bestimmung derselben verglich; es dürfte indefs sehr schwer seyn, für die letztere die erforderlichen Gröfsen mit nöthiger Schärfe zu erhalten, weswegen ich blofs die durch Erfahrung gefundenen Werthe, die von den berechneten zunehmend abweichen, hier mittheile, wobei t die Temperatur der Umgebung und t′ die durch die Verdunstung erzeugte Kälte unter dieser Temperatur in Centesimalgraden bezeichnet.

| t | t′ | t | t′ | t | t′ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 5°,82 | 9 | 8°,61 | 18° | 11°,96 |
| 1 | 6,09 | 10 | 8,97 | 19 | 12,34 |
| 2 | 6,37 | 11 | 9,37 | 20 | 12,73 |
| 3 | 6,66 | 12 | 9,70 | 21 | 13,12 |
| 4 | 6,96 | 13 | 10,07 | 22 | 13,51 |
| 5 | 7,27 | 14 | 10,44 | 23 | 13,90 |
| 6 | 7,59 | 15 | 10,82 | 24 | 14,30 |
| 7 | 7,92 | 16 | 11,20 | 25 | 14,70 |
| 8 | 8,26 | 17 | 11,58 | | |

Es ergiebt sich aus dieser Tabelle, dafs die Grade der erzeugten Kälte um so mehr wachsen, je gröfser die Wärme der Umgebung ist. Hieraus folgt von selbst, dafs sie in einem ähnlichen Verhältnisse abnehmen, wenn die letztere unter den Gefrierpunct herabgeht, was auch durch die Formel ausgedrückt wird, wonach bei — 25° äufserer Temperatur nicht mehr als 1°,45 Kälte erzeugt werden würde, aus dem einfachen Grunde, weil die Dichtigkeit des Dampfes, und sonach die Menge des verdampfenden Wassers, mit abnehmender Temperatur gleichfalls abnimmt. In einem genügenden theoretischen Ausdrucke dieser Gröfsen müfste zugleich auch die mit der Temperatur abnehmende Wärmecapacität des Wasserdampfes aufgenommen werden, worüber bis jetzt die Bestimmungen fehlen. HARE[2]

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 82.

2 London and Edinburgh Philos. Magaz. N. LXVII. p. 325.

fand bei der Wiederholung der bekannten Versuche, daſs der Aether, den man anwendet, um das Wasser gefrieren zu machen, die Ventile und inneren Theile der Luftpumpe angreift, und daſs man diesem Uebel durch ein untergestelltes Gefäſs mit Schwefelsäure begegnen kann. Das Gefrieren des Wassers über Schwefelsäure im Vacuum fand er schwierig[1], vermuthlich wegen mangelhafter Wirksamkeit der gebrauchten Pumpe, doch gelang es ihm später, wenn er den Versuch länger fortsetzte und durch eine eigene Vorrichtung stets aufs Neue Wasser hinzuführte, eine 2 Zoll dicke Eismasse zu erzeugen. Dagegen fand Dove[2] keine Schwierigkeit, das Quecksilber selbst bei 23°,75 C. äuſserer Wärme vermittelst Schwefeläthers über Schwefelsäure gefrieren zu machen; interessant aber ist die durch ihn geschehene Umkehrung des Versuches, indem er die Thermometerkugel mit Schwefelsäure benetzte, Aether darunter stellte und beim Exantliren Wärmevermehrung wahrnahm. Marcet[3] erweiterte das Gebiet der bis dahin gemachten Erfahrungen, indem er eine neue und bei weitem die wirksamste Substanz, den Schwefelkohlenstoff, anwandte. Wird die Kugel eines Thermometers mit einem Stücke Flanell oder besser Leinwand umwickelt, dann in Schwefelkohlenstoff getaucht und frei gehalten, so sinkt die Temperatur derselben bald von 15°,6 bis — 17°,8 C., statt daſs auf gleiche Weise Aether es nur bis — 6°,7 und Alkohol nur bis 10° herabbringt. Um die Verdunstung zu verstärken, kittete er die Röhre des Weingeistthermometers in einen messingnen Deckel, brachte auf diese Weise die mit Leinwand umwickelte und in Schwefelkohlenstoff getauchte Kugel in eine kleine Campane und erreichte durch schnelles Auspumpen der Luft, daſs die Wärme desselben von 21°,1 bis — 56°,6, ja selbst bis — 62°,2 herabsank. Schon früher hatte derselbe[4] das Quecksilber durch Aether, in welchen die mit Leinen umwickelte Kugel getaucht war, im Vacuum sowohl ohne, als auch mit Anwendung von Schwefelsäure zum Gefrieren gebracht und dabei dessen starke Zusammenziehung beobachtet; es war ihm daher ein Leichtes, dieses auch durch Schwefelkohlenstoff zu bewirken. Dieser Ver-

1 London and Edinb. Philos. Mag. N. XXIX. p. 377.
2 Poggendorff's Ann. XIX. 356.
3 Philos. Trans. 1813. G. XLVIII. 167. LII. 281.
4 Nicholson's Journ. 1813. Febr.

such geräth leicht, auch wenn das Vacuum nur 0,25 Zoll beträgt; den höchsten angegebenen Kältegrad erreicht man aber nur, wenn das Barometer die Hälfte dieser Gröſse zeigt.

Wie überraschend aber diese Wirkungen sind, so werden sie dennoch von denen übertroffen, die man durch Verdampfung der von Bussy[1] tropfbar-flüssig dargestellten schwefligen Säure erhalten kann, deren Siedepunct bei — 10° C. liegt. Bringt man 20 Gran Quecksilber in einem Uhrglase mit ebenso viel dieser Säure übergossen unter die Campane der Luftpumpe, so gefriert das Metall augenblicklich. Inzwischen ist dieser Versuch sehr unbequem, denn er erfordert eine äuſsere Temperatur unter dem Gefrierpuncte dieser Säure, also unter —10°, und auſserdem greift zwar auch der Schwefelkohlenstoff, aber noch stärker die schweflige Säure die Ventile der Luftpumpe an. Durch die mächtig erkältende Wirkung dieser Flüssigkeit kann man das Quecksilber auch ohne Luftpumpe, wenn auch minder schnell, zum Gefrieren bringen, wenn man sie auf eine mit Baumwolle umwickelte Kugel tröpfelt und der Verdampfung in kalter, trockner Luft aussetzt. Das Quecksilber sinkt dann regelmäſsig bis —36° C., zieht sich hierauf schnell in die Kugel und ist erstarrt. Unter der Luftpumpe erfolgt das Gefrieren so schnell, daſs die Oberfläche des Metalls in Folge der Krystallisation und plötzlichen Zusammenziehung uneben wird. Tröpfelt man die Säure vorsichtig auf Wasser, so erzeugt sie augenblicklich eine Hülle von Eis[2].

1 Schweigger's Journ. Th. XLI. S. 453 aus Journ. de Pharmacie 1824. Avr. p. 202. Die Säure wird bei äuſserer Kälte bereitet, indem man gleiche Theile Quecksilber und Schwefelsäure in einen Kolben bringt, den Hals desselben durch Schnee kalt erhält, die sich entwickelnde Säure durch eine Röhre mit salzsaurem Kalk von der Feuchtigkeit befreit und in einem kleinen Kolben niederschlägt, welcher in einer Mischung von 2 Th. Schnee und 1 Th. Kochsalz liegt.

2 Bekanntlich haben verschiedene Gelehrte die Entstehung des *Hagels* aus der Verdunstungskälte in den höheren Regionen zu erklären gesucht, namentlich auch Ideler in seiner an Thatsachen überreichen Schrift: Untersuchungen über den Hagel und die elektrischen Erscheinungen in unserer Atmosphäre. Leipz. 1833. S. 60 ff., und allerdings ist es verführerisch, wenn man die enormen Kältegrade liest, die hierdurch erzeugt werden; allein die hierzu erforderlichen Bedingungen sind in jenen Regionen nicht vorhanden, und unter solchen, wie sie daselbst gegeben sind, würde es unmöglich seyn, nur

469) Auf die starke Verdampfung des Wassers im luftleeren Raume hat Wollaston[1] die Construction seines *Kryophorus* (von κρύος, Eis, Kälte und φέρω, ich trage, also nicht *Chryophorus*), eines höchst sinnreich ausgesonnenen Apparates, gegründet, in welchem das Wasser durch seine eigene Verdunstung gefrieren gemacht oder die Kälte in die Entfernung getragen wird. Der Kryophorus besteht aus einer etwa 2 bis 2,5 Fuſs langen Glasröhre von der Weite einer gewöhnlichen Barometerröhre und zwei etwa 1 bis 2 Zoll im Durchmesser haltenden Kugeln an den Enden derselben, welche nach der nämlichen Seite hin rechtwinklig gebogen sind. Die eine dieser Kugeln ist in eine Spitze ausgezogen; das Instrument wird durch diese mit Wasser so gefüllt, daſs die eine Kugel etwa halb voll ist. Man läſst dann dieses Wasser anhaltend, wohl eine Stunde lang und darüber, heftig sieden, um alle Luft möglichst vollständig auszutreiben, wobei der Dampf sichtbar aus der Spitze entweicht, bläst dann mitten im Sieden, wenn dieses angeht, die äuſserste Spitze an der Lampe zu, oder verschlieſst sie mit Siegellack so, daſs das Instrument möglichst luftleer bleibt, wobei man es sogleich vom Feuer entfernen muſs, und schmelzt nach dem Erkalten die Spitze ab. Ist das Instrument gehörig luftleer, so vertheilt man das Wasser ungefähr gleichmäſsig in beiden Kugeln, taucht die eine derselben in eine kaltmachende Mischung aus Schnee und Kochsalz und wird dann in wenigen Minuten das Wasser der andern Kugel in Eis verwandelt sehn. Es fällt von selbst in die Augen, daſs für diesen interessanten Versuch, worin das Wasser selbst in 3 Fuſs Entfernung und in einer warmen äuſseren Umgebung durch seine eigene Verdampfung gefriert, nicht gerade eine kaltmachende Mischung erfordert wird, sondern es kommt nur darauf an, das Wasser der andern Kugel durch Erkältung in Eis zu verwandeln und dessen Temperatur einige Grade unter seinen Gefrierpunct herabzubringen, so daſs es den im abgeschlossenen Raume befindlichen Wasserdampf begierig auf-

Fig. 67.

---

überhaupt ein Gefrieren zu Wege zu bringen, geschweige denn solche Wirkungen, wie sie sich in der Hagelbildung zeigen, worüber im Art. *Hagel* Bd. V. S. 62 das Nöthige gesagt worden ist.

1 Philos. Trans. 1813. p. 71. Ann. of Philos. T. II. p. 130. G. XLVIII. 174. LII. 274 u. 279.

nimmt, welcher dann durch Dampf aus dem Wasser der entfernten Kugel ersetzt wird, so daſs auch dieses in Folge des hierdurch latent werdenden Wärmestoffes gefriert. Das Erkalten der ersten Kugel läſst sich auch durch Verdunstung bewirken, wie namentlich durch Marcet vermittelst der erwähnten Methoden geschehn ist. Die hierbei entstehende Kälte ist dem Unterschiede zwischen der durch Verdampfung latent und der durch die Eisbildung frei werdenden Wärme proportional, Wollaston's hierauf gegründete Gröſsenbestimmungen sind aber nur annähernd angegeben und haben daher auf eigentliche Beachtung keine gegründeten Ansprüche. Eine andere Construction dieses Apparates, die ich aus einem schönen Exemplare von Watkins in London kenne, bietet noch gröſsere Fig. 68. Bequemlichkeit dar. Eine auf 13 Zoll lang gerade Glasröhre, einer etwas weiten Barometerröhre gleichend, ist an der einen Seite mit einem halbkreisförmig gebogenen Theile versehn, woran sich eine, hiernach vertical herabhängende Kugel von 3 Zoll Durchmesser befindet, deren etwa 0,1 ihres Inhalts ausfüllendes Wasser eine verhältniſsmäſsig groſse Oberfläche darbietet. Am andern Ende der Röhre ist ein ungefähr 3,5 Zoll langer, 1,5 Zoll weiter Cylinder angeblasen, worin sich der andere, ungefähr 0,3 bis 0,25 des Inhalts ausfüllende, Theil Wasser befindet. Diesen Cylinder senkt man in die kaltmachende Mischung, kann das Instrument ruhig in seiner verticalen Richtung stehn lassen und sieht dann das Eis in der groſsen Kugel gestehn.

470) Alle frühere Kältegrade werden bei weitem übertroffen durch die Verdampfung der *liquid gemachten Kohlensäure.* Thilorier[1] hatte sich schon mehrere Jahre damit beschäftigt, die Kohlensäure mittelst einer eigens hierzu construirten, bis 10000 Atmosphären wirkenden Pumpe tropfbar-flüssig zu machen, und als ihm dieses gelungen war, mischte er die entstandene Flüssigkeit mit Alkohol oder Schwefeläther und fand, daſs 50 Gramm Quecksilber in einen Strahl dieser Mischung gehalten in wenig Secunden gefroren. Noch überraschender aber

---

1 Ann. de l'Industrie et française et étrangère. T. IV. p. 132. Bulletin de la Soc. d'Encouragement 1830. p. 345. L'Institut 1834. N. 58. 1835. N. 126 u. 127. Poggendorff's Ann. XXXVI. 141. Ann. de Chim. et Phys. T. LX. p. 427.

war das Phänomen, dafs ein Strahl der reinen flüssigen Kohlensäure in ein kleines Gläschen geleitet eine bis — 100° C. nach Schätzung steigende Kälte erzeugte, wodurch die Flüssigkeit in einen schneeähnlichen festen Körper verwandelt wurde. Ein in den Strahl gehaltenes Thermometer ging bis — 87° C. herab, und es würde wohl bis — 93° herabgegangen seyn, wenn es ganz der Kältewirkung ausgesetzt worden wäre. Thilorier hat diese Entdeckung später weiter verfolgt, die Apparate verbessert und durch die feste Kohlensäure den Physikern ein Mittel gegeben, die Gefrierpuncte derjenigen Körper zu untersuchen, die allen früher bekannten Mitteln trotzten, wovon unten bei der Untersuchung des Gefrierens weiter die Rede seyn wird. Der Apparat, dessen man sich in Paris zuletzt bediente[1] und durch dessen Zerspringen am 30sten Dec. 1840 der Gehülfe Hervy den Tod fand, indem ihm beide Schenkel zerschlagen wurden, besteht aus einem gufseisernen Fig.
Cylinder von 0,487 Met. Höhe, 0,271 Met. Weite und 0,054 69.
Met. Dicke. In seiner Mitte ist er zwischen zwei Säulen BB aufgehangen, so dafs er sich hin und her wiegen läfst, um den Inhalt besser durch einander zu schütteln. Der innere Raum bb wird mit doppeltkohlensaurem Natron angefüllt und dieses mit einem hölzernen Cylinder festgestampft, dann bringt man den hohlen, am einen Ende verschlossenen Cylinder A so hinein, dafs er in dem Salze feststeckt, füllt ihn mit Schwefelsäure und verschliefst den Apparat durch einen zugeschraubten Deckel, in welchem sich ein kupferner Hahn befindet, um nach Gefallen von der Kohlensäure herauszulassen. Die Reaction beginnt sogleich, durch Schaukeln verbreitet sich die Schwefelsäure überall, die entbundene Kohlensäure wird durch den heftigen Druck tropfbar-flüssig und selbst schneeartig fest. Man läfst sie durch das aufgeschraubte Rohr D in den Cylinder E übergehn, und wiederholt die Bereitung so oft, bis letzterer mit einer genügenden Menge tropfbar-flüssiger Kohlensäure angefüllt ist, die dann, wenn man einen Theil in Gasform entweichen läfst, durch die erzeugte Verdunstungskälte fest wird.

---

1 Journal de Chimie médicale N. II. T. VII. 2me Sér. p. 57. Die Zeichnung daselbst ist nur ein undeutlicher Holzschnitt.

## F. Wirkungen der Wärme.

### 1) Ausdehnung der Körper durch dieselbe.

471) In allen bisherigen Untersuchungen ist die Wärme oder eigentlicher der Wärmestoff, in Beziehung auf seine Verbindung mit wägbaren Stoffen, stets als repulsive Potenz oder als Träger dieser Potenz betrachtet worden, und es würde überflüssig seyn, hier nochmals vom *stabilen Gleichgewichte* der Körper zu handeln, welches darin besteht, dafs die Atome der Körper einander anziehn, zugleich aber die sich einander abstofsenden Elemente des Wärmestoffes anziehn, so dafs aus dem Conflicte dieser beiden Kräfte der beharrliche Zustand der Festigkeit, tropfbaren Flüssigkeit oder Gasform entsteht. Hieraus folgt unmittelbar, und man darf wohl sagen nothwendig, dafs die Vermehrung der Wärme die Molecüle der Körper weiter von einander entfernen, also die Massen ausdehnen müsse, was auch mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt; es folgt aber keineswegs daraus, dafs die Wärme eine eigentliche Abstofsung, als Wirkung in die Entfernung, ausübe. Sollte dieses statt finden, so müfsten die zwischen den abgestofsenen Körpern aufgehäuften Wärmeatome sowohl mefsbare Durchmesser haben, damit ihre Anhäufung eine mefsbare Gröfse bildete, als auch sich bei dieser Anhäufung im Zustande der Ruhe befinden, welches beides mit den bekannten Erscheinungen der Wärme im Widerspruche steht. Die Wärme wird durch die Anziehung der Molecüle wägbarer Körper zurückgehalten, und zwar mit einer solchen Kraft, dafs sie bei dem Entweichen von denselben sogar Theilchen in Dampfform mit sich fortreifst, wenn der Flüssigkeitszustand der Körper dieses erlaubt. Trennt sie sich aber ohne dieses von den Körpern, so tritt diejenige Bewegung ein, die wir *Strahlung* nennen, wobei sie nach schneller Bewegung stets wieder an einen andern Körper (so weit unsere genugsam begründeten Erfahrungen reichen) übergeht. Die Repulsion der Wärme wirkt nie anders, als der Adhäsion ähnlich in unmefsbare Ferne, wie sich auffallend in den Erscheinungen zeigt, die Leidenfrost's Versuch (§. 271 ff.) darbietet, und wenn auch eine Art rückwirkender Abstofsung beim Uebergange aus einem Körper in den andern bei unmittelbarer Berührung ihrer Flächen statt fände, wie einige zur

Erklärung der Oscillationen des *Wacklers* annehmen (§. 285 ff.), so ist dieses noch immer keine Wirkung in die Entfernung. Einige Physiker wollen aber eine durch Wärme erzeugte *Repulsion* [1] aus unzweifelhaften Phänomenen folgern. In den neuesten Zeiten ging Libri [2] mit dieser Hypothese voran, die er hauptsächlich auf die Thatsache stützte, daſs Tropfen von Flüssigkeiten, die an Drähten hängen, der Schwere entgegen sich aufwärts bewegen, wenn man das Ende der Drähte erhitzt, zugleich aber fand er eine Bestätigung derselben in dem Verhalten zweier Flammen, die sich (scheinbar) abstoſsen, wie denn auch diese Repulsion Ursache derjenigen Wirkungen seyn soll, welche Davy's Drahtgeflechte (§. 150 u. 151) zeigen. Für die unlängst von ihm aufgestellte Hypothese einer der Wärme zukommenden eigentlichen Repulsion erklärte sich auſser Andern auch Berzelius [3], sofern das Aufsteigen der Tropfen an erhitzten Drähten daraus erklärbar werden sollte; Fresnel [4] wurde dadurch veranlaſst, seine bekannten Repulsionsversuche anzustellen, Saigey [5] beobachtete bei seinen Untersuchungen der Entwickelung des Magnetismus in verschiedenen Körpern Phänomene, die er aus keiner andern Ursache, als aus einer Repulsion durch Wärme erklären zu können glaubte, und auch Pouillet [6] betrachtete die von Libri und Fresnel gemachten Beobachtungen, indem er namentlich die Versuche des Letzteren wiederholte, als beweisend für eine solche repulsive Kraft der Wärme. Eigene Versuche zeigten mir jedoch die eigentliche Ursache der durch Fresnel und Andere wahrgenommenen Abstoſsungen [7], und das Phänomen der abgestoſsenen Tropfen zeigt sich bei näherer Betrachtung als nicht beweisend, weil bei einer vorhandenen Repulsion die *Adhäsion*, vermöge welcher der Tropfen am Drahte fortwährend hängen bleibt, nicht bloſs zuvor = 0 werden, mithin der Tropfen herabfallen, son-

1 Vergl. Art. *Abstoſsung*. Bd. I. S. 120.

2 Bibliothèque univers. T. XXXIV. p. 173. Poggendorff's Ann. X. 294.

3 Jahresbericht. Neunter Jahrg. Tüb. 1830. S. 45.

4 Ann. de Chim. et Phys. T. XXIX. p. 57 und 107. Bulletin de la Soc. Philom. 1825. Juin. p. 84.

5 Ferrussac Bullet. des Sc. math. T. IX. p. 89. 167. 239.

6 Journ. de Pharmac. T. XIV. p. 150.

7 Vergl. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 547. Anm. 3.

dern auch mit einer gewissen, in Beziehung auf die Adhäsion negativen Kraft fortgestoſsen werden müſste, was selbst bei der Glühhitze der Metalle nicht geschieht, insofern sich der Tropfen nie so weit von der Metallfläche entfernt, daſs das Licht zwischen beiden durchgehn könnte (§. 273). Das Ganze beruht also auf einer durch die Hitze bewirkten Verminderung der Adhäsion[1]. Um dieses deutlicher zu übersehn, sey die Stärke der Adhäsion des Tropfens am Drahte von mittlerer Temperatur $= a$ und werde durch eine Temperaturerhöhung von t Graden um $t^{\omega} x$ vermindert, so wird sie dann $= a - t^{\omega} x$ seyn, worin sowohl $\omega$ als auch x bis jetzt noch unbekannt sind. Das Verhältniſs der Anziehungen, welche die kältere Stelle ausübt, zu der der wärmeren Stelle wird hiernach $= a : (a - t^{\omega} x)$; der Tropfen wird allerdings durch die gröſsere Kraft der kälteren Stelle von der wärmeren weggezogen, allein es findet an der letzteren fortdauernd noch eine Anziehung $= t^{\omega} x$ statt. Ist aber die letztere Gröſse auch noch so klein, so daſs der Tropfen von der wärmeren Stelle zu der kälteren der Schwere entgegen hingezogen wird, so folgt doch keineswegs aus den bis jetzt bekannten Erfahrungen, daſs sie bei irgend einer Temperatur $= 0$ oder gar negativ werde. Neuerdings hat Baden Powell[2] das Problem einer *Abstoſsung durch Wärme* abermals zum Gegenstande genauer Untersuchungen gemacht, aus denen hervorgeht, daſs die Repulsivkraft der Wärme die Capillaradhäsion nicht überwinden kann, dennoch aber zeigt sie sich so unverkennbar durch Abänderung der Gestalt Newton'scher Farbenkreise, daſs nach seiner Ansicht, unterstützt durch eigens von ihm selbst angestellte Versuche, die durch Fresnel und Saigey wahrgenommenen Erscheinungen als Folgen derselben zu betrachten seyn sollen. Wenn wir es aber als ausgemacht ansehn, daſs die Wärmerepulsion die Adhäsion tropfbarer Flüssigkeiten zu festen Körpern zwar zu schwächen, aber nicht aufzuheben vermag, und zugleich berücksichtigen, daſs auch zwischen festen Kör-

1 Vergl. Poggendorff's Ann. XXII. 208.

2 Philos. Trans. 1834. P. II. p. 485. Poggendorff's Ann. XXXIV. 656. Reports of Brit. Ass. Fourth Rep. p. 549. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXXV. p. 317.

pern unter sich Adhäsion statt findet, welche durch Wärme zwar gleichfalls geschwächt wird, ohne daſs eine gänzliche Aufhebung derselben oder gar ein Uebergang zum Negativen bis jetzt factisch erwiesen ist, daſs ferner der Abstand zwischen Flächen zur Erzeugung Newton'scher Farbenringe nur äuſserst gering seyn darf, so daſs die kleinste ungleiche Ausdehnung der Körper durch Wärme leicht merkliche Veränderungen erzeugen kann, so dürfen wir wohl eine in meſsbare Entfernung wirkende Repulsion der Wärme als bis jetzt noch problematisch betrachten, obgleich eine Schwächung der Attraction, vermöge welcher die Molecüle der Körper sich gegenseitig anziehn, und eine hieraus folgende Ausdehnung keineswegs zweifelhaft seyn kann. Die Versuche von R. Addams[1], wonach Kieselerde und sonstige feine Pulver den erhitzten Platingefäſsen weniger, als den kalten adhäriren, dienen als Bestätigung der durch Wärme verminderten Anziehung; wenn aber Talbot[2] als einen Beweis für wirklich statt findende Repulsion die Erscheinung anführt, daſs Schwefel, zwischen zwei Glasscheiben erhitzt, sich von der unteren heiſseren trennt und an die obere kältere anlegt, so gehört dieses zu der groſsen Classe der Destillationen und Sublimationen, wobei zur Dampfform gebrachte Körper mit Verlust eines Theiles ihrer Wärme sich an kältere Körper anlegen, wovon später die Rede seyn wird. Zwischen den einfachen und auch den zusammengesetzten Molecülen der Gase und Dämpfe findet allerdings Repulsion statt, so daſs jene Atome selbst durch die bewegte Wärme mit fortgeführt werden; allein daraus folgt nicht, daſs Körpermassen, welche die Wärme durch Anziehung binden, durch diese ihre Wärme sich abstoſsen sollten; die Abstoſsung der Körpermolecüle tritt vielmehr erst dann ein, wenn sie von so dichten Wärmesphären umgeben sind, daſs ihre Anziehung hierdurch = 0 wird, und sie daher der Bewegung der Wärme folgen, wie sich dieses in der Dampfbildung augenfällig zeigt.

Einen Versuch, die Ausdehnungen aller Körper, von welcher Aggregatform sie auch seyn mögen, auf ein allgemeines Gesetz zurückzuführen, hat Schitko[3] gemacht, und es ist

1 Lond. and Edinb. Phil. Magaz. N. XXXVI. p. 415.
2 Ebendaselbst. N. XLVI. p. 189.
3 Wiener Zeitschrift. Th. IV. S. 436. Th. VI. S. 138.

leicht, die Principien kurz darzustellen, von denen er hierbei ausgeht. Ist das anfängliche Volumen eines Körpers = v und dehnt er sich, von irgend einem Puncte des Thermometers ausgehend, durch eine gegebene Vermehrung der Wärme um $\frac{1}{m}$ aus, so ist bei der erhöheten Temperatur sein Volumen

$$v' = v\left(1 + \frac{1}{m}\right).$$

Wird diesem Körper abermals eine gleiche Menge Wärme zugeführt, so wird sein Volumen

$$v'' = v'\left(1 + \frac{1}{m}\right) = v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2,$$

also überhaupt für eine gleiche Menge von Wärmeincrementen, die x heiſsen möge,

$$v = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^x.$$

Dieses soll bei den expansiblen Flüssigkeiten statt finden, wie zwar schon von Andern gleichfalls behauptet worden ist, keineswegs aber mit der allgemeinen Erfahrung übereinstimmt und auch nicht aus dem wesentlichen Verhalten der Wärme, welche durch ihre Repulsivkraft die Molecüle der Körper weiter von einander entfernt, sofern uns dieses, jedoch nur unvollkommen, bekannt ist, nothwendig folgt. Schitko deutet zwar bei seiner Argumentation an, daſs man eigentlich vom natürlichen, d. h. absoluten, Nullpuncte ausgehn müsse, allein was hierfür gilt, läſst sich auch für jedes Intervall der Thermometerscale geltend machen, wenn wir eine gegebene Temperatur statt = t vielmehr = z + t setzen, wonach dann die Zunahme eine Reihe = z + t; z + 2t; z + 3t . . . z + nt bilden würde, die Summe der Grade unterhalb t = z gesetzt, wodurch jedoch das Verhältniſs nicht abgeändert wird, da jedes Glied durch z dividirt werden kann. Soll nämlich dem nach einer geometrischen Reihe wachsenden Volumen

$$= v;\ v\left(1 + \frac{1}{m}\right);\ v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2 \ldots v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^n$$

eine die erweiterten Räume ausfüllende proportionale Menge Wärme zugeführt werden, so müſsten die Temperaturen gleichfalls in einer Reihe

$$=t;\ t\left(1+\frac{1}{m}\right);\ t\left(1+\frac{1}{m}\right)^2 \ldots\ldots t\left(1+\frac{1}{m}\right)^n$$

wachsen, was aber nicht der Fall ist. Wir kennen aber, wie gesagt, die Gesetze der Wärme in dieser Beziehung zu wenig, um hierüber etwas Bestimmtes festzusetzen. Gegen den aus der Erfahrung entnommenen Beweis der gleichförmigen Ausdehnung gasförmiger Körper führen die Anhänger der hier in Rede stehenden Theorie das Argument an, daſs eben die thermometrischen Substanzen sich gleichfalls nach einer geometrischen Reihe ausdehnen und daher ein unrichtiges Maſs abgeben. Ein Beweis der gleichmäſsigen Ausdehnung expansibler Flüssigkeiten scheint mir aber in ihrer specifischen Wärmecapacität zu liegen, welche für gleichmäſsige Volumensvermehrungen zunehmend wächst (§. 438), so daſs hiernach also das umgekehrte Verhalten von dem statt findet, was die angegebene Hypothese annimmt.

Handelt es sich um das Gesetz der Ausdehnung fester oder tropfbar-flüssiger Körper, so setzen diese der Ausdehnung einen mit ihrer Volumensvermehrung abnehmenden Widerstand entgegen, und Schitko glaubt, daſs diese Abnahme im quadratischen Verhältnisse, der Schwere analog, statt finde. Man soll sich dann vorstellen, daſs die Incremente, um welche sich der Körper wegen verminderten Widerstandes mehr ausdehnt, durch einen vermehrten Einfluſs der Wärme entstehn, und es fragt sich dann, um was die Wärmegrade x vermehrt werden müssen, damit dieser Bedingung genügt werde. Heiſst ein solches Increment der Wärme, welches der Vergröſserung des Volumens in Folge des verminderten Widerstandes zugehört, $=\alpha$, und ist das Volumen eines Körpers für den ersten Wärmegrad bei constantem Widerstande $v = 1 + \frac{1}{m}$, so wird dieses Volumen bei abnehmendem Widerstande

$$v' = v\left(1+\frac{1}{m}\right)^{\alpha} = \left(1+\frac{1}{m}\right)^{1+\alpha}.$$

Bei dem zweiten Wärmegrade würde das Volumen

$$v'' = v'\left(1+\frac{1}{m}\right) = \left(1+\frac{1}{m}\right)^{2+\alpha},$$

wenn der Widerstand unverändert derselbe bliebe, wie er am

Ende des ersten Wärmegrades war. Da er aber wieder nachläfst und dadurch die Ausdehnung um so viel zunimmt, als wenn die Temperatur um $3\alpha$ erhöht worden wäre, so wird das eigentliche Volumen desselben

$$v''' = v''\left(1+\frac{1}{m}\right)^{3\alpha} = \left(1+\frac{1}{m}\right)^{2+4\alpha}.$$

Aus gleichen Gründen ist das Volumen beim dritten Wärmegrade

$$\left(1+\frac{1}{m}\right)^{3+9\alpha}$$

und überhaupt bei x Wärmegraden

$$v = \left(1+\frac{1}{m}\right)^{x+\alpha x^2}.$$

Nennt man $\frac{1}{m} = \mu$, so erhält man

$$v = \left(1+\mu\right)^{x+\alpha x^2}$$

oder

$$\text{Log.}\,v = (x+\alpha x^2)\,\text{Log.}\,(1+\mu).$$

Zur Bestimmung von $\alpha$ und $\mu$ sind zwei Versuche erforderlich. Sind dann für zwei Temperaturen x und X die Volumina v und V bekannt, so erhält man

$$\text{Log.}\,v = (x+\alpha x^2)\,\text{Log.}\,(1+\mu),$$
$$\text{Log.}\,V = (X+\alpha X^2)\,\text{Log.}\,(1+\mu),$$

also

$$\text{Log.}\,(1+\mu) = \frac{\text{Log.}\,v}{x+\alpha x^2} \text{ oder } = \frac{\text{Log.}\,V}{X+\alpha X^2},$$

$$\alpha = \frac{x\,\text{Log.}\,V - X\,\text{Log.}\,v}{X^2\,\text{Log.}\,v - x^2\,\text{Log.}\,V}.$$

Schitko zeigt in vielen Beispielen, dafs diese Formel Werthe giebt, die mit den durch Beobachtung gefundenen sehr genau übereinstimmen; inzwischen ist hier nicht der geeignete Ort, in eine nähere Untersuchung einer Theorie einzugehn, die wohl nicht unbedingten Beifall finden dürfte.

## a) Ausdehnung fester Körper.

472) Um auch hier die im Art. *Ausdehnung* befolgte Ordnung beizubehalten, möge zuerst von der Ausdehnung fester Körper gehandelt werden, wobei sich von selbst versteht, dafs nur dasjenige hier berührt werden kann, was seitdem neu hinzugekommen oder verbessert worden ist. Aufser einigen, zu besonderen Zwecken construirten Apparaten hat man im Allgemeinen die bereits beschriebenen beibehalten, als neu ist jedoch derjenige angegeben, welchen James Nasmyth [1] in Vorschlag gebracht hat. Derselbe besteht aus einer am einen Ende zuge- Fig.
schmolzenen, etwa 1 Zoll weiten und 4 Zoll hohen Glasröhre, 70.
oben mit einer messingnen Fassung und einem abzuschraubenden Deckel, in welchem sich eine bis 3 Fufs lange, an beiden Enden offene, in Zoll und Linien getheilte Thermometerröhre befindet. Bei unter sich vergleichbaren Versuchen nimmt man von den zu untersuchenden Körpern gleich grofse Stücke, welche die Röhre A fast ausfüllen, bringt sie in das bereits darin befindliche, bis zu einer mittleren Temperatur erwärmte Wasser, schraubt den Deckel BB auf und bringt vermittelst der kleinen Schraube C das Wasser auf den Nullpunct der Scale. Dann erwärmt man den Apparat in heifserem Wasser bis zu einer höheren Temperatur, bemerkt den Stand, welchen das Wasser hierdurch in der Röhre erreicht, wiederholt den Versuch mit gleich grofsen Stücken anderer Metalle auf dieselbe Weise und erhält hierdurch aus den erreichten Scalentheilen unmittelbar die verhältnifsmäfsige Ausdehnung. Kennt man aber den Kubikinhalt der Scalentheile und zieht man von der beobachteten Ausdehnung die vorher bestimmte des Wassers ab, so erhält man die kubische Ausdehnung des untersuchten Körpers. Poggendorff [2] bemerkt mit Recht, dafs dieser Apparat nur eine Abänderung des bereits von Dulong und Petit in Anwendung gebrachten sey [3] und dafs man bei vielen, namentlich krystallisirten Körpern wegen ihrer nach den Axen ungleichen Ausdehnung von der kubischen nicht auf die lineare schliefsen könne.

---

1 Edinburgh Journ. of Science. N. XII. p. 125. Poggendorff's Ann. IX. 611.

2 Dessen Ann. a. a. O.

3 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 577.

473) Die Gröſse der Ausdehnung fester Körper, namentlich der Metalle, war schon früher mit so groſser Genauigkeit ermittelt worden, daſs hier nur wenige neue Bestimmungen nachzutragen sind. Dahin gehört die Ausdehnung des Messings, welche SABINE[1] nach den Schwingungen messingner Pendelstangen bestimmte und kleiner fand, als die früheren Versuche sie gegeben haben. Die geodätischen Messungen, welche HASSLER[2] in den nordamericanischen Staaten anstellte, veranlaſsten ihn, zu Newark in Newjersey die Ausdehnung der gebrauchten eisernen und messingnen Stangen zu messen, und die hierbei erhaltenen Bestimmungen dürfen wohl als vorzüglich genau gelten. NAVIER[3] maſs an den Röhrenleitungen zu Paris die Ausdehnung des Guſseisens und STRUVE[4] die des Tannenholzes, welches zur Aufstellung des groſsen Refractors auf der Sternwarte zu Dorpat gebraucht wurde. PARRY[5] hatte Gelegenheit, die Ausdehnung der Körper durch Wärme in sehr niedrigen Temperaturen zu messen; er versuchte dieses auch bei mehreren Metallen, fand aber, daſs auch das zu den Meſsapparaten dienende Holz sich durch die Wärme ausdehnte, und begnügte sich daher, diese letztere Gröſse zwischen —40° und + 15°,56 C. zu bestimmen. Für diesen Temperaturunterschied fand er eine Vergröſserung des Volumens = 0,0008333, welches für 100° C. sehr nahe 0,00150 giebt, und also die lineare Ausdehnung des Holzes = 0,0003, mit der durch STRUVE gefundenen Bestimmung für Tannenholz sehr nahe übereinstimmend. Die bereits vielseitig gemessene Ausdehnung einiger gangbarer Metalle suchte auch PRINSEP[6] näher zu bestimmen und erhielt die in der angehängten Tabelle aufgenommenen Gröſsen. Die Veranlassung zu diesen Messungen ging aus dem Bedürfniſs

1 An Account of Experiments to determine the figure of the Earth. Lond. 1825. 4. p. 207.

2 Trans. of the Amer. Phil. Soc. held at Philad. New Ser. T. I. p. 224.

3 Mém. de l'Instit. 1827. p. 454.

4 Beschreibung des groſsen Refractors von FRAUNHOFER. Dorp. 1825. fol. S. 4.

5 Appendix to Capt. PARRY's second Voyage. Lond. 1825. 4. p. 252.

6 Aus Journal of Asiatic Soc. 1833. Mars, in Biblioth. univ. Fev. 1835. T. LVIII. p. 160. Ann. des Mines. T. IX. Liv. II. p. 277.

hervor, die bei den geodätischen Messungen zu Barakpoor gebrauchten Meſsstangen mit genügender Schärfe für die Temperatur zu corrigiren. Zur Vergleichung dienten sehr fein getheilte Etalons, die aus London mitgenommen worden waren; das Ablesen geschah durch stark vergröſsernde Mikroskope, die Erwärmung bis zur Siedehitze des Wassers mittelst Dampfes, und insbesondere wurde die Vorsicht angewandt, die erzeugte Temperatur der Stäbe eine hinlänglich lange Zeit zu erhalten, damit sie sich durch die ganze Masse derselben ausbreiten konnte, und es dürfen demnach diese Bestimmungen, insbesondere die für das Eisen mit Beschränkung auf die untersuchte eigenthümliche Sorte, für sehr genau gelten. Einer besonderen Untersuchung unterwarf Hällström[1] die Ausdehnung des Glases, dessen er sich zu seinen wichtigen Messungen der Ausdehnungsgesetze des Wassers bediente, und gebrauchte hierzu den Apparat, welchen er schon früher für ähnliche Zwecke angewandt hatte. Die zu messende Glasstange befand sich in einem hölzernen Kasten, an dessen eine Seitenwandung sie durch eine Feder angedrückt wurde, während sie horizontal auf Messingdrähten ruhend sich frei ausdehnen konnte; am andern Ende war eine messingne Scheibe mit feinen Einschnitten auf dem Rande aufgesteckt, um mittelst eines Mikroskops die Verrückung eines dieser Einschnitte in Folge der erzeugten Ausdehnung zu beobachten und die Gröſse der Ausdehnung zu messen. Im hölzernen Kasten befand sich das zum Erwärmen dienende Wasser, dessen Temperatur bei fleiſsigem Umrühren mittelst zweier, an beiden Enden befindlichen Thermometer bestimmt wurde. Aus Messungen zwischen 3° und 30° C. erhielt er für die Länge der Röhre, diese bei 0° C. = 1 angenommen,

$$L = 1 + 0{,}00000196 . t + 0{,}000000105 . t^2,$$

wenn L die Länge und t Grade der hunderttheiligen Scale bezeichnen[2]. Werden hiernach die wachsenden Ausdehnungen

---

1 Aus Vetenskaps Acad. Handlingar för år 1823 in Poggendorff's Ann. I. 149.

2 Erman entwickelt aus den im Art. *Ausdehnung* Bd. I. S. 578 angegebenen Messungen von Dulong und Petit für die lineare Ausdehnung des Glases die Formel:

$$L = 1 + 0{,}000024\, t + 0{,}00000002298\,4\, t^2.$$

des Glases bis 100° C. berechnet und mit denen verglichen, welche von Lavoisier und Roy unter der Voraussetzung gefunden worden sind, daſs die Ausdehnung des Glases zwischen diesen beiden Temperaturen sich gleichbleibend sey, so giebt dieses die in nachstehender Tabelle zusammengestellten Werthe.

| Temperaturen | Ausdehnung des Glases. Lavoisier | Roy | Hällström |
|---|---|---|---|
| 0° | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0,000087 | 0,000078 | 0,000030 |
| 20 | 0,000175 | 0,000155 | 0,000081 |
| 30 | 0,000263 | 0,000233 | 0,000153 |
| 40 | 0,000350 | 0,000310 | 0,000246 |
| 50 | 0,000348 | 0,000388 | 0,000361 |
| 60 | 0,000526 | 0,000466 | 0,000496 |
| 70 | 0,000613 | 0,000543 | 0,000652 |
| 80 | 0,000701 | 0,000621 | 0,000829 |
| 90 | 0,000788 | 0,000698 | 0,001027 |
| 100 | 0,000876 | 0,000776 | 0,001246 |

Die groſse Abweichung dieser Resultate soll auf der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Ausdehnung und der Verschiedenheit der angewandten Glassorten beruhn; allein in Beziehung auf das erste Argument läſst sich zwar nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen annehmen, daſs wirklich eine mit der Temperatur wachsende Zunahme statt findet, jedoch eine so starke, als sie hiernach seyn müſste, ist nach aller Analogie sehr unwahrscheinlich, denn wollte man auch nach den Erscheinungen, welche das Thermometer[1] in der Nähe des Nullpunctes darbietet, für diese Temperatur eine stärkere Zusammenziehung des Glases annehmen, so könnten bei vollkommen calibrirten Röhren die dem Siedepuncte nahe liegenden Grade nicht mehr richtig seyn, denn die Ausdehnung des Glases von 10° bis 20° beträgt 0,000051 und von 90° bis 100° nicht weniger als 0,000219, ist also 4mal stärker und müſste eine merkliche Verkürzung der höhern Grade zur Folge haben, die unmöglich bis jetzt der Beachtung entgehn konnte. Daſs die Ursache der so bedeutenden Abweichung in der Eigenthümlichkeit der gebrauchten Glassorte liegen sollte, hat mindestens

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 932. Anm. 1.

viel wider sich, denn unter den 15 mit verschiedenen Glassorten angestellten[1] Messungen beträgt der Unterschied des gröfsten und geringsten gefundenen Werthes 0,00021485, die von HÄLLSTRÖM für 100° C. erhaltene Gröfse aber übertrifft den gröfsten jener Werthe um 0,00025500, mithin den kleinsten um 0,00046985.

Ich selbst[2] mafs die lineare Ausdehnung des Glases zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers aus der kubischen bei zwei Glaskugeln, und fand die der einen 0,00088517, die der andern aber 0,00088446, was durch seine Uebereinstimmung mit früher erhaltenen Resultaten diesen zur Bestätigung dient. Durch ein gleiches Verfahren, aber mittelst einer weit gröfseren Reihe von Versuchen bestimmte auch RUDBERG[3] die Ausdehnung des Glases, wobei er zugleich eine bequeme Art, die gefundenen Gröfsen zu berechnen, mittheilt. Allgemein bestimmt man nämlich das Gewicht des in der Glaskugel und ihrem Röhrchen befindlichen Quecksilbers, erhitzt den Apparat bis zur Siedehitze und findet dann das Gewicht des in dieser Temperatur ausgeflossenen Quecksilbers. Ist dann das Gewicht des zwischen 0° und der Siedehitze T′ ausgeflossenen Metalls $= \omega'$, so wird wegen des durch den Barometerstand bedingten Siedepunctes das Gewicht des zwischen 0° und 100° C. ausgeflossenen:

$$\omega = \frac{100}{T'}\,\omega'.$$

Heifst dann ferner die wahre Ausdehnung des Quecksilbers zwischen 0° und 100° C. $\Delta$, die des Glases $\delta$, so ist das Volumen des Quecksilbers bei 100° C. $= V(1+\Delta)$ und das der Kugel $= V(1+\delta)$, mithin das Volumen des ausgeflossenen Quecksilbers $= V(\Delta - \delta)$. Wiegt dann die Volumeneinheit des Quecksilbers bei 0° $= b$ und bei 100° $= b'$, und setzt man $P = bV = b'V(1+\Delta)$, so erhält man:

$$b' = \frac{b}{1+\Delta};\quad \omega = b'V(\Delta-\delta) = P\,\frac{\Delta-\delta}{1+\Delta},$$

woraus die wahre Ausdehnung des Glases zwischen 0° und 100° C. gefunden wird:

---

1 S. oben Bd. I. S. 585.

2 Mém. présent. à l'Acad. Imp. des Sc. de Petersb. T. I.

3 Poggendorff's Ann. XLI. 279. Vergl. S. 558.

$$\delta = \Delta - \frac{\omega}{P}(1 + \Delta).$$

Hierin mufs die Ausdehnung des Quecksilbers bekannt seyn, die aber durch Dulong und Petit mit hinlänglicher Genauigkeit gefunden worden ist. Wird also dieser Werth für $\Delta$ substituirt, so erhält man

$$\Delta - \delta = 1{,}018018 \frac{\omega}{P}$$

oder

$$\delta = 0{,}018018 - 1{,}018018 \frac{\omega}{P}.$$

Aus nicht weniger als 24 Messungen fand Rudberg die Gröfse $\Delta - \delta$ so nahe übereinstimmend, dafs der gröfste Werth 0,015761, der kleinste 0,015697 und das Mittel aus allen 0,015733 beträgt, woraus die kubische Ausdehnung des Glases = 0,018018 — 0,015733 = 0,002285, also die lineare = 0,0007617 hervorgeht. Diese Bestimmung ist kleiner als alle bisher gefundenen, und kommt der einen von Roy = 0,00077615 am nächsten. Rudberg bemerkt indefs, dafs die untersuchte Glassorte *Kaliglas* von Reymyra war, welches ungleich härter und daher weniger ausdehnbar ist, als das gewöhnliche Natronglas. Zugleich ergiebt sich aus diesen Messungen, dafs die Ausdehnung der nämlichen Glassorte, auch wenn sie aus verschiedenen Hafen genommen ist, keine merkliche Aenderung der Ausdehnung zeigt.

474) Es ist gegenwärtig nicht mehr zweifelhaft, dafs aufser den gasförmigen alle Körper bei wachsender Wärme sich zunehmend ausdehnen, wobei indefs eine anfangs statt findende Zusammenziehung einiger Flüssigkeiten, welche den Punct ihrer gröfsten Dichtigkeit erzeugt, Berücksichtigung verlangt. Als ebenso ausgemacht wird betrachtet, dafs im Ganzen gasförmige Körper für gleiche Temperaturzunahmen am stärksten, tropfbarflüssige weniger und feste am wenigsten eine Zunahme ihres Volumens erhalten. Bei den Bestimmungen hierüber bietet sich ein bedeutendes, leider aber unvermeidliches, Hindernifs dar, sofern man verlangt, dafs die tropfbar-flüssigen Körper von den festen unterschieden werden, was übrigens aus dem angegebenen Grunde der bedeutend ungleichen Ausdehnung nicht wohl anders geschehen kann, obgleich der Uebergang aus dem einen dieser Aggregatzustände in den andern bei sehr ungleichen Temperaturen erfolgt und daher bei manchen dieser Uebergang

schon zwischen beiden festen Puncten des Thermometers, beim Eise gerade bei 0° C. und bei einigen Körpern unter 0° C. erfolgt. Im Allgemeinen pflegt man diejenigen Körper flüssig zu nennen, die sich bei mittleren Temperaturen oder noch bestimmter über dem Nullpuncte des Thermometers in diesem Aggregatzustande befinden. Hieraus geht aber hervor, daſs für manche Körper schon bei Temperaturen, die zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers liegen, ganz verschiedene Gröſsen ihrer Ausdehnung zur Untersuchung kommen, je nachdem sie sich in dem einen oder dem andern dieser Aggregatzustände befinden, wozu dann noch eine neue über ihr Verhalten beim Uebergange aus dem einen in den andern kommt. In Beziehung auf Eis wuſste man schon lange, daſs es sich beim Uebergange in den tropfbaren Zustand bedeutend zusammenzieht; ebenso bekannt ist dieses vom Wismuth und einigen andern Substanzen, allezeit setzte man aber ein eigenes Gesetz der Ausdehnung für den Zustand der Festigkeit und ein davon verschiedenes für den Flüssigkeitszustand voraus, ohne dabei anzunehmen, daſs auch bei festen Körpern ein ähnliches Verhalten statt finde, als bei den tropfbar-flüssigen, vermöge dessen sie in der regelmäſsig fortschreitenden Ausdehnung wieder rückwärts gehen und einen Punct der gröſsten Dichtigkeit zeigen. Es war daher eine interessante Entdeckung G. A. Erman's [1], diese Eigenschaft beim *Rose'schen Metall* (2 Th. Wismuth, 1 Th. Zinn und 1 Th. Blei) wahrzunehmen, und es wäre allerdings der Mühe werth, auch andere, nicht sehr strengflüssige Körper in dieser Hinsicht zu untersuchen. Die Gröſse der Ausdehnung bestimmte er aus dem specifischen Gewichte dieser Legirung vermittelst der Abwägungen in Olivenöl, maſs dabei die Temperatur des Metalles durch unmittelbare Messung, da es unmöglich war, sie aus der des Oeles zu bestimmen, und fand auf diese Weise das merkwürdige Verhalten dieses Körpers, welches aus der graphisch dargestellten Linie seiner Ausdehnung für Grade nach R., wobei 0,1 des Volumens bei 0° R. als Maſsstab dient, am deutlichsten übersehn wird. Von 0° bis 35° R. ist die Vergröſserung des Volumens Fig. 71.

1 Rationis quae inter volumina corporis eiusdem: solidi, liquescentis, liquidi, intercedit specimen. Berol. 1826. 4. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. IX. 557.

den Zunahmen der Temperatur fast genau proportional, dann folgt eine rasche Verminderung bis 55° R. und sofort wieder stark zunehmende Vergröſserung, die über dem Schmelzpuncte bei 75° R. noch nicht aufhört, sondern bis 80° R. fortgeht, von wo an eine der anfänglichen fast gleiche Ausdehnung des flüssigen Metalls eintritt, die der Regel zuwider etwas kleiner ist, als die des starren Metalles vom Gefrierpuncte des Wassers an. Es wäre allerdings der Mühe werth zu ermitteln, ob dieses auſsergewöhnliche Verhalten durch das sehr krystallinische Wismuth allein oder durch dessen Verbindung mit den andern beiden Metallen bewirkt wird.

Interessant ist gleichfalls die Auffindung der Ausdehnung des *Phosphors* im festen Zustande, verglichen mit der im flüssigen. Die Wägungen geschahen hierbei im Wasser und es fand sich der Regel gemäſs die Ausdehnung des flüssigen stärker, als die des festen, in beiden mit nicht merklicher Zunahme bei wachsenden Temperaturen; im Augenblicke des Schmelzens zeigte sich aber eine sehr auffallende Vergröſserung des Volumens. Erman fügt noch die Bemerkung hinzu, daſs dieses Verhalten der untersuchten Körper sehr zur Unterstützung der Hypothese dient, wonach der Aggregatzustand der Körper und die Ausdehnung derselben durch den Conflict der Attraction ihrer Molecüle und der repulsiven Kraft des Wärmestoffs bedingt wird[1].

475) Die Ausdehnung nicht metallischer fester Körper, als der Steine, des Mörtels u. s. w., betrachtet man meistens als so gering, daſs sie für die praktische Anwendung keine Beachtung verdient, und auſserdem sind die Messungen dieser Gröſsen ausnehmend schwierig, weil man diese Körper nicht leicht in hinlänglich langen Stangen erhalten kann, wie bei den Versuchen mit Metallen geschieht. Inzwischen hat man wahrgenommen, daſs hohe Thürme durch den Einfluſs der Sonnenhitze einseitige Beugungen erhalten[2], wodurch der Stand der astronomischen Werkzeuge verrückt wird, und wenn die allgemeine Erfahrung zeigt, daſs alle Arten von Töpferwaare durch die Hitze des Brennens schwinden, so findet diese Zusammenziehung doch nur so lange statt, bis sie gehörig zusammengesin-

---

1 Vergl. theoretische Untersuchungen hierüber von W. S. Sankey in Edinb. Journ. of Science New Ser. N. 1. p. 17.

2 Bouguer machte nach einer Beobachtung an einem Steinpflaster unter dem Aequator zuerst hierauf aufmerksam. S. Industriel 1829. Janv. S. 453.

tert (hart gebrannt) sind, nachher aber dehnen sie sich allerdings durch Wärme aus, wovon man sich namentlich durch das Springen des Porcellans bei rascher Erhitzung überzeugt; auch habe ich gesehen, dafs ein Porcellan-Ofen in Wien den umgelegten eisernen Reifen durch seine Ausdehnung in Folge der Erhitzung gesprengt hatte. Durch feine Versuche ist es gelungen, die Gröfse der Ausdehnung verschiedener derartiger Körper zu messen. So soll, jedoch nur annähernd genau, die Ausdehnung des weifsen Marmors 0,001 und die des schwarzen 0,0004 für 100° C. betragen[1]. Nach Versuchen von W. Bartlett[2] beträgt die Ausdehnung des Marmors (ohne Angabe der Farbe, welche allein wohl schwerlich einen solchen Einflufs haben kann, dafs sie die Ausdehnung auf weniger als die Hälfte herabzubringen vermöchte, indem dieses vielmehr eine Folge der ungleichen Beschaffenheit dieses Gesteins seyn mufs) 0,0010202. Eben derselbe hat auch genauere Bestimmungen für Sandstein und Granit gefunden, die in der unten folgenden Tabelle aufgenommen worden sind. Die zahlreichsten Versuche, und wohl die genauesten über diese Aufgabe, hat Adie[3] angestellt, indem er sich dabei eines eigens construirten Apparates bediente, welcher noch den 30000sten Theil eines englischen Zolles angab und daher selbst kleinere Stangen, Würfel und Parallelepipeda zu messen gestattete. Im Allgemeinen fand er die Längenausdehnung der untersuchten Steine und Mörtel der des Gufseisens sehr nahe kommend; die einzelnen Werthe enthält die Tabelle. Vicat[4] bemerkte die Ausdehnung der Steine an einer bei Souillac über die Dordogne gebaueten Brücke anfänglich nur im Allgemeinen, und als er sich von der Thatsache hinlänglich überzeugt hatte, mafs er mit einem eigens construirten Apparate die Gröfse der Ausdehnung dieses feinkörnigen weifsen Kalksteins, die er für 100° C. = 0,000251 fand[5]. Sorgfältiger verfuhr Destigny[6], indem er die Ausdehnung der von ihm ge-

---

1 The London and Paris Observer. 1831. Sept.

2 Amer. Journ. of Science T. XXII. p. 136. Biblioth. univ. 1833. p. 297. Edinburgh New Annals of Philos. N. XXVI. p. 304.

3 L'Institut 1835. N. 113. p. 222. Biblioth. univ. 1837. Juin. p. 403. Compt. rend. T. I. p. 56. Ann. des Mines T. IX. Liv. II. p. 275.

4 Ann. de Chim. et Phys. 1824. Dec.

5 Ebend. 1827. Dec.

6 Industriel. 1829. p. 453. Dingler's polytechn. Journ. XXXIII. S. 295.

messenen Steine aus dem Unterschiede zwischen ihrer eigenen und der bekannten des Eisens und Kupfers bestimmte, welche der Controle wegen beide angewandt wurden. Eine der untersuchten Steinarten, die von St. Leu, maſs er auch im trocknen und nassen Zustande, nahm hierbei aber keinen Unterschied wahr. Auf ähnliche Weise untersuchten auch John Dunn und Edward Sang[1] die Ausdehnung des schwarzen und weiſsen Marmors, indem sie dieselbe mit der des Glases verglichen. Um die letztere für die hierbei anzuwendenden Glasröhren genauer zu ermitteln, bliesen sie eine der Röhren zu einer Kugel mit einem Haarröhrchen auf, füllten diesen Apparat mit frisch destillirtem Quecksilber, erhitzten ihn dann bis zur Siedehitze, wogen das ausgelaufene Quecksilber, und indem sie die von Laplace im Système du Monde angegebene Ausdehnung des Quecksilbers von $\frac{1}{5412}$ für jeden Grad der Centesimalscale zum Grunde legten[2], fanden sie hiernach die lineare Ausdehnung des Glases = 0,000988. Ihre Versuche ergaben, daſs der weiſse Marmor mehr, der schwarze weniger als das Glas ausgedehnt wurde, denn beim ersten betrug sie 0,001072, beim letzteren 0,000426. Dieses stimmt damit überein, daſs die dichteren Körper sich weniger ausdehnen, denn das specifische Gewicht des weiſsen war 2,65, das des schwarzen dagegen 3,0.

476) Viele, wohl die meisten Körper dehnen sich durch zunehmende Wärmegrade zunehmend aus, wie im Art. *Ausdehnung* bereits erörtert wurde. Daniell[3] hat das, was hierüber bekannt war, durch eine bedeutende Menge von Thatsachen vermehrt, indem er sich zum Messen der höheren Temperaturen seines Register-Thermometers bediente. Seine Messungen begannen von 62° F. (16°,67 C.) und gingen dann zuerst bis zum Siedepunkte des Wassers, demnächst bis 662° F. oder 350° C., endlich bis zum Schmelzpuncte derselben, und zeigen, daſs alle von ihm untersuchte Körper sich zunehmend ausdehnen, auſserdem aber auf

1 Edinburgh New Philos. Journal. N. XXI. p. 66.

2 Diese Bestimmung ist gröſser, als die von Dulong und Petit gefundene = $\frac{1}{5550}$ für jeden Centesimalgrad. Hiernach muſsten die Beobachter die Ausdehnung des Glases zu geringe und somit die der Marmorarten zu groſs finden. Der Unterschied ist nicht sehr bedeutend, allein es fällt auf, daſs sie dennoch die Ausdehnung des Glases so groſs fanden.

3 Philosoph. Trans. 1831. p. 443 ff.

eine auſserordentliche Weise beim Schmelzpuncte. Als allgemeine Bemerkung darf noch hinzugesetzt werden, daſs die *Ausdehnung der Legirungen* nicht die mittlere der vereinten Metalle ist, sondern eine eigenthümliche, die jedoch durch diese bedingt wird. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der wachsenden linearen Ausdehnungen für die zugehörigen, auf Centesimalgrade reducirten Temperaturen, die Länge bei 16°,67 C. als Einheit angenommen.

| Substanzen. | Ausdehnung für 83°,33 | 333°,33 | Schmelzpunct. |
|---|---|---|---|
| Graphit-Waare (0,75 Graphit, 0,25 Thon) . . . . . . | 1,000244 | 1,000703 | . . . . |
| Wedgwood-Waare . . . . | 1,000735 | 1,002995 | . . . . |
| Platin . . . . . . . . . . | 1,000735 | 1,002995 | . . . . |
| Schmiedeeisen . . . . . . . | 1,000984 | 1,004483 | . . . . |
| Guſseisen . . . . . . . . | 1,000893 | 1,003943 | 1,016389 |
| Gold . . . . . . . . . . | 1,001025 | 1,004238 | . . . . |
| Kupfer . . . . . . . . . | 1,001430 | 1,006347 | 1,024376 |
| Silber . . . . . . . . . | 1,001626 | 1,006886 | 1,020640 |
| Zink . . . . . . . . . . | 1,002480 | 1,008527 | 1,012621 |
| Blei . . . . . . . . . . | 1,002323 | . . . . | 1,009072 |
| Zinn . . . . . . . . . . | 1,001472 | . . . . | 1,003798 |
| Messing (0,25 Zink) . . . | 1,001787 | 1,007207 | 1,021841 |
| Bronze (0,25 Zinn) . . . . | 1,001541 | 1,007053 | 1,016336 |
| Pewter (0,2 Zinn, 0,8 Kupfer) . | 1,001696 | . . . . | 1,003776 |
| Lettern-Metall . . . . . | 1,001696 | . . . . | 1,004830 |

Das Platin schmilzt bekanntlich nicht, seine Länge betrug aber bei der gröſsten erlangten Hitze 1,009926, und die des Schmiedeeisens beim Schmelzpuncte des Guſseisens 1,018378.

Die neu aufgefundenen Bestimmungen der linearen Ausdehnung für einen Temperaturunterschied zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers, also für 80° R. oder 100° C., die Länge des Körpers bei 0° als Einheit angenommen, sind in der folgenden Tabelle mitgetheilt, auſserdem einige wenige Verbesserungen der früheren Tabelle, die zur Unterscheidung ein Sternchen (*) haben.

| Substanzen | Gröfse bei 100° C. | Beobachter. |
|---|---|---|
| Blei . . . . . . . . | 1,00278560 | Daniell |
| | 1,00295400 | Prinsep |
| Bronze . . . . . . . | 1,00184920 | Daniell |
| Baustein von Caithness . | 1,00089470 | Adie |
| — von Arbroath . . . | 1,00089850 | Adie |
| Cement, römischer . . . | 1,00143489 | Adie |
| Eisen (Schmiede–) . . . | 1,00113475* | Dulong und Petit |
| | 1,00121500 | Prinsep |
| | 1,00122400* | Horner |
| | 1,00125343 | Hassler |
| | 1,00122045 | Destigny |
| | 1,00118080 | Daniell |
| (Gufs–) . . . . | 1,00107160 | Daniell |
| . . . . | 1,00098500 | Navier |
| . . . . | 1,00114676 | Adie |
| . . . . | 1,00110217 | Adie |
| Glas . . . . . . . . . | 1,00124600 | Hällström |
| | 1,00098800 | Dunn und Sang |
| . . . . | 1,00088517 | Muncke |
| | 1,00088446 | Muncke |
| (Kaliglas) . . . . | 1,00076170 | Rudberg |
| Gold . . . . . . . . . | 1,00123000 | Daniell |
| fast rein . . . . . | 1,00143400 | Prinsep |
| Granit . . . . . . . | 1,00086850 | Bartlett |
| rother von Peterhead | 1,00089680 | Adie |
| grauer von Aberdeen | 1,00078943 | Adie |
| Graphitwaare (0,75 Gr., 0,25 Thon) . | 1,00029280 | Daniell |
| Holz . . . . . . . . | 1,00030000 | Parry |
| Kalkstein, weifser . . . | 1,00025100 | Vicat |
| grüner von Ratho . | 1,00080890 | Adie |
| Kupfer . . . . . . . | 1,00171820* | Dulong und Petit |
| | 1,00171600 | Daniell |
| gewalztes . . . | 1,00169100 | Prinsep |
| | 1,00169900 | Edinb. Encycl. |
| Lettern-Metall . . . . | 1,00203520 | Daniell |
| Marmor . . . . . . . . | 1,00102020 | Bartlett |
| weifser . . . . . | 1,00100000 | Lond. and Paris Observer |
| schwarzer . . . | 1,00040000 | Lond. and Paris Observer |
| carrarischer . . . | 1,00084867 | Destigny |
| | 1,00065390 | Adie |
| | 1,00107200 | Dunn und Sang |
| weifs, sicil. . . | 1,00110411 | Dunn und Sang |
| schwarzer . . . | 1,00042600 | Dunn und Sang |
| schwarz, von Galway | 1,00044519 | Dunn und Sang |

| Substanzen | Gröſse bei 100° C. | Beobachter. |
|---|---|---|
| von St. Béat . . | 1,00041810 | Destigny |
| von Solst . . . | 1,00056849 | Destigny |
| Messing . . . . . . | 1,00187821 | Destigny |
| | 1,00176050 | Sabine |
| geglühetes . . | 1,00189163 | Hassler |
| | 1,00190600 | Prinsep |
| (0,25 Zink, 0,75 Kupf.) | 1,00214440 | Daniell |
| Pewter . . . . . . . | 1,00203520 | Daniell |
| Platin . . . . . . . | 1,00088200 | Daniell |
| Sandstein . . . . . . | 1,00171570 | Bartlett |
| von Liver-Roch . | 1,00117430 | Adie |
| Silber . . . . . . . | 1,00195120 | Daniell |
| mit $\frac{1}{12}$ Kupfer . . | 1,00190400 | Prinsep |
| Stein, von Vernon sur Seine | 1,00043027 | Destigny |
| von St. Leu . . | 1,00064890 | Destigny |
| schiefrig, von Penrhyn | 1,00103760 | Adie |
| Ziegel, ord. . . | 1,00055020 | Adie |
| spröder . | 1,00049280 | Adie |
| Tannenholz . . . . . | 1,00035200 | Struve |
| | 1,00049590 | Kater |
| Thon, holländ. Pfeife . . | 1,00045730 | Adie |
| Wedgwood-Stange . . | 1,00045294 | Adie |
| Waare . . . | 1,00088200 | Daniell |
| Zink . . . . . . . . | 1,00297600 | Daniell |
| Zinn . . . . . . . . | 1,00176640 | Daniell |

477) Unsere Kenntniſs der Ausdehnung fester Körper durch Wärme ist durch einen für die Theorie höchst wichtigen Beitrag erweitert worden, in Mitscherlich[1] die höchst interessante Entdeckung machte, daſs gewisse Krystalle sich nach der Richtung ihrer Axen verschieden ausdehnen. Bei seiner Messung von Kalkspathkrystallen mittelst eines Pistor'schen Repetitions-Goniometers gewahrte er einen Unterschied der Winkel, dessen Ursache er in nichts anderem, als dem Einflusse der Temperatur glaubte suchen zu dürfen, und wirklich wuchs dieser Unterschied durch Erhöhung der Wärme, so daſs er für 100° C. bis zu 8′30″ sieg. Durch Fortsetzung der Versuche, wobei er die Krystalle in Quecksilber erhitzte, gelangt er zu folgenden allgemeinen Resultaten: 1) Krystalle, die zum regelmäſsigen Systeme

1 Poggendorff's Ann. I. 125. Vergl. Phil. Mag. first Ser. T. LXIV. p. 162. Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. I. p. 417.

gehören und keine doppelte Strahlenbrechung zeigen, dehnen sich nach allen Seiten gleichmäfsig aus. 2) Krystalle, deren primitive Form ein Rhomboëder oder sechsseitiges Prisma ist, verhalten sich in der Richtung der Hauptaxe anders gegen die Wärme, als in der der Nebenaxen. Der Kalkspath z. B. dehnt sich in der Richtung der Hauptaxe, die beide Winkel mit einander verbindet, anders aus, als nach den Nebenaxen, die hierauf senkrecht stehen; indefs ist bei letzteren in diesem Systeme die Ausdehnung gleich. 3) Krystalle, bei denen die doppelte Strahlenbrechung von zwei Axen abhängig ist (z. B. deren primitive Figur ein Rectangulär-Oktaëder, ein Rhomben-Oktaëder ist), dehnen sich nach allen drei Richtungen verschieden aus. 4) Die Ausdehnung der Krystalle steht in einem bestimmten Verhältnifs zu den optischen Axen, und zwar so, dafs die kleineren Axen sich verhältnifsmäfsig stärker ausdehnen. Fresnel[1] bediente sich eines sinnreichen Verfahrens, um die Sache anschaulich zu machen. Er leimte zu diesem Ende vermittelst eines in der Hitze flüssigen Leims zwei dünne Blättchen krystallisirten Gypses so auf einander, dafs ihre Axen sich durchkreuzten, und indem sie sich dann nach dem Festwerden des Leims beim Erkalten blofs nach einer Richtung stark zusammenzogen, entstand eine schiefgebogene Platte. Mitscherlich[2] verfolgte die Erscheinung weiter, aus welcher nach richtiger Ansicht unverkennbar hervorgeht, dafs die Molecüle nach den durch die Axen bezeichneten Richtungen verschieden angeordnet sind, was jedoch bei den zum regulären Systeme gehörigen, z. B. der Blende und dem Spinell, nicht der Fall ist, wohl aber bei denen, die zur Krystallform des Quadratoktaëders, so wie zu der des Rhomboeders und des sechsseitigen Prima's gehören. Durch weiter fortgesetzte und oft wiederholte Versuche überzeugte er sich, dafs die Ausdehnung der dieses unerwartete Verhalten zeigenden Körper von ihren Axen abhängig sey, sofern namentlich beim Kalkspath die gröfste Ausdehnung in der Richtung der kleinen Axe statt finde, in welcher die Atome sich am nächsten liegen, dafs die Ausdehnung ferner bei verschiedenen, zum nämlichen Systeme gehörigen Krystallen

1 Bullet. des Scienc. math. 1824. Fevr. p. 100. Poggendorff's Ann. II. 109.

2 Poggendorff's Ann. X. 137.

ungleich sey, ohne dafs diese Ungleichheit in einem bestimmten Verhältnisse zur Länge ihrer Axen stehe.

Demnächst wandte er sich zu der Aufgabe, aufser der relativen Ausdehnung dieser Krystalle auch die absolute zu messen. Hierzu fand er sich um so mehr bewogen, als in Gemäfsheit der Veränderung der Winkel beim Kalkspath die Ausdehnung desselben in der Richtung der Hauptaxe für 100° C. = 0,00342, also gröfser gefunden worden war, als die irgend eines andern Fossils. Die Messung der absoluten Ausdehnung dieser Krystalle stellte er gemeinschaftlich mit Dulong nach dessen Methode[1] an, und es ergab sich hieraus die Gesammt-Ausdehnung des Kalkspaths für 100° Temperaturunterschied = 0,001961, also kleiner, als die in einer Richtung. Wegen dieses überraschenden Resultates mafs er die Ausdehnung des Kalkspaths an zwei Stücken, bei dem einen in der Richtung der Hauptaxe, beim andern in der auf diese perpendiculären, mittelst des Sphärometers, verglich sie zugleich mit der des Glases und fand hierdurch, dafs dieses Fossil, indem es sich in der Richtung der Hauptaxe durch Wärme ausdehnt, sich in der auf diese normalen zusammenzieht. Das Glas dehnt sich nach Dulong um 0,000861 aus, und da dieselbe in diesen Versuchen 0,001421 mehr betrug, als die des Kalkspathes in der auf die Hauptaxe lothrechten Richtung, so mufste sich letzterer um 0,001421 — 0,000861 = 0,00056 zusammengezogen haben. Hiernach findet also in der Richtung der Hauptaxe nach der Winkelmessung eine wirkliche Ausdehnung von 0,00342 — 0,00056 = 0,00286 statt. Hiervon die Ausdehnung nach der hierauf lothrechten abgezogen giebt eine totale Ausdehnung von 0,00286 — 2 × 0,00056 = 0,00174, statt dafs die directen Messungen 0,001961 gegeben hatten, eine Abweichung, die bei so zusammengesetzten Bestimmungen für nicht grofs gelten mufs. Mitscherlich[2] hat später ein einfaches Verfahren angegeben, diese ungleiche Ausdehnung wahrzunehmen. Dieses kann geschehen bei geeigneten Zwillingskrystallen, namentlich denen des Gypses, oder durch pafsliche Vereinigung zweier Stücke vermittelst eines Kittes, welcher die Siedehitze verträgt. In derjenigen Temperatur, die sie bei ihrer Vereinigung hatten, liegen ihre Flächen cc, c′c′ Fig. 72.

1 S. Bd. I. S. 577.
2 Poggendorff's Ann. XLI. 213.

in einer geraden Ebene und geben daher nur ein Bild, in höherer bilden sie einen stumpfen Winkel und geben zwei Bilder.

### b) Ausdehnung tropfbar-flüssiger Körper.

478) In diesem Gebiete ist seit dem Erscheinen des ersten Bandes dieses Werkes viel geschehen, welches sich am besten der Uebersicht früherer Untersuchungen in der dort gewählten Ordnung anreihen läſst[1]. Ueber die *Ausdehnung des Quecksilbers* sind keine weiteren Versuche angestellt worden, weil die darüber bereits bekannten allen Forderungen genügen. Desto gröſserer Fleiſs ist von vielen Seiten aufgewandt worden, die

#### α) Ausdehnung des Wassers

genauer zu erforschen. Ein Vorschlag von Meikle[2], hierzu, und namentlich zur Auffindung des Punctes der gröſsten Dichtigkeit, einen umgekehrten doppelten Heber in Anwendung zu bringen, möge nur beiläufig erwähnt werden, denn man übersieht bald, daſs für Messungen dieser Art, namentlich beim Wasser, wegen der Capillarität die Scale die erforderliche Feinheit nicht erhalten kann. Bei weitem die zahlreichsten und genauesten Versuche zur Aufhellung dieses Problems hat Hällström angestellt, diesen schlieſsen sich die von Despretz an; meine eigenen muſs ich gleichfalls erwähnen, und auch Stampfer hat einen nicht unwichtigen Beitrag hierzu geliefert. Wir wollen diese alle hier der Reihenfolge nach, weil sie sich auf einander beziehn, mit der nöthigen Ausführlichkeit betrachten, um zu einer sichern Grundlage der anzunehmenden Gröſsen zu gelangen.

479) Hällström[3] hatte schon früher eine Reihe von Versuchen hierüber angestellt und nahm dann dieses Problem abermals vor. Zuerst giebt er eine prüfende Uebersicht der früheren Bemühungen von de Luc, Dalton, Blagden und Gilpin,

---

1 Eine sehr vollständige Zusammenstellung der bekannten Thatsachen findet man in: Dissert. phys. inaug. de dilatatione liquidorum per calorem. Scr. Ger. Simons. Traj. ad Rhen. 1828.

2 Philos. Magaz. T. LXVIII. p. 166.

3 Vetenskaps Acad. Handlingar för år 1823. Poggendorff's Ann. I. 125.

Rumford, Tralles, Hope, G. G. Schmidt, Charles, Lefevre-Gineau, Bischof und von ihm selbst, welche sämmtlich in dem hierher gehörigen Artikel[1] bereits erwähnt worden sind, aufserdem aber die von Ekstrand[2], welcher sich der durch Rumford, Tralles und Hope angewandten Methode bediente und damit den Punct der gröfsten Dichtigkeit zwischen 3°,6 und 3°,9 C. fand. Gelegentlich können hier auch noch die Versuche Achard's[3] erwähnt werden, welcher die Ausdehnung von vierzig verschiedenen Flüssigkeiten nach der durch de Luc angewandten Methode zu bestimmen suchte; allein da er auf die Ausdehnung des Glases keine Rücksicht nahm und aufserdem die bei solchen Versuchen unerläfslichen näheren Betimmungen fehlen, so sind die erhaltenen Resultate ohne eigentlichen Werth. Bei seinen neuen Versuchen bediente sich Hällström einer kleinen hohen Glaskugel, die nach dem Zublasen mit einem geringen Uebergewichte im Wasser niedersank und aus deren Gewichtsverluste im Wasser die Dichtigkeit desselben nach gehöriger Correction für die Ausdehnung des Glases sich finden liefs. Um alle Ursachen der zu begehenden Fehler möglichst zu vermeiden, mafs er zuerst die Ausdehnung des gebrauchten Glases (§. 473), und erhielt hierfür die angegebene, von allen andern bedeutend abweichende Bestimmung. Diese Kugel, mittelst eines dünnen Haares am einem Arme einer feinen Waage von Hurter hängend, senkte er in das Wasser, dessen Gefäfs in einem gröfseren, mit Wasser gefüllten, stand, um die Temperatur des Wassers im innern Gefäfse auf jede verlangte Temperatur dadurch zu bringen, dafs man dem des äufseren entweder heifses Wasser oder Schnee zusetzte. Der Gewichtsverlust der Kugel, für die Ausdehnung des Glases corrigirt, gab dann die wechselnde Dichtigkeit des Wassers, worin sie hydrostatisch gewogen wurde, für die verschiedenen Temperaturen. Diese Wägungen wurden von 0°,8 bis 32°,5 ausgedehnt, und der Calcül ergab die Temperatur für den Punct der gröfsten Dichtigkeit = 4°,108 C. in der Art, dafs ein Werth = 3°,678 als kleinster und = 4°,583 aufser den Grenzen der Wahrscheinlichkeit liegt.

480) Als ein schätzbarer Nachtrag zu diesen Versuchen ist

---

1 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 601 ff.

2 Dissert. acad. de max. dens. aquae inven. Lund. 1819.

3 Nouveaux Mém. de l'Acad. de Berlin. 1784.

eine folgende Arbeit eben dieses gelehrten Physikers zu betrachten[1], wobei er sich der von Rumford und Tralles angewandten Methode bediente. Er füllte ein Glasgefäſs von 4 schwedischen Decimalzollen Weite bis zu 8 Zoll Höhe mit Wasser, hing in der Axe desselben zwei feine und sorgfältig corrigirte Thermometer auf, das eine 1,5 Z. über dem Boden, das andere 2 Z. unter der Oberfläche, brachte das Gefäſs abwechselnd in ein warmes Zimmer und in die äuſsere Kälte, und beobachtete den Stand der Thermometer während des langsamen Erwärmens und Erkaltens. Das obere Thermometer zeigte anfangs beim Erkalten eine höhere Temperatur, beim Erwärmen aber eine geringere, als das untere, jedoch nur bis zu einem gewissen Grade, worauf dann ein entgegengesetztes Verhalten eintrat; in beiden Fällen bewegte sich das untere langsamer, als das obere, und die Temperatur, wo ersteres von letzterem eingeholt wurde, ist als dem Puncte der gröſsten Dichtigkeit des Wassers zugehörig zu betrachten. Mit Recht wird bemerkt, daſs Tralles zu einem falschen Schlusse verleitet wurde, indem er diesen Punct bei 4°,35 C. setzte, weil beide Thermometer bei dieser Temperatur mehrere Tage unverändert standen, denn dieses war die Folge des Einflusses der dieser gleichen äuſseren Wärme und würde bei 3°,35 gleichfalls statt gefunden haben. Der sichere Weg war daher, äuſsere niedrigere und höhere Temperaturen zu wählen, wie durch Hällström geschah, bei dessen Versuchen die höhere 20° C. betrug, die niedere zwischen — 4°,5 und + 3° C. lag. Wollte man noch sicherer verfahren und mögliche Fehler noch vollständiger vermeiden, so dürfte es rathsam seyn, die höhere Temperatur eben so weit über, als die niedere unter 4° C. zu wählen, da man diese als diejenige betrachten kann, welche im sehr genäherten Werthe dem Puncte der gröſsten Dichtigkeit zugehört. Aus 14 Versuchsreihen, deren 7 den zunehmenden und 7 den abnehmenden Temperaturen zugehörten, ergab sich für die ersten der Punct der gröſsten Dichtigkeit bei 4°,575 und für die letzten bei 3°,433, also im Mittel bei 4°,004. Nach der Berechnung der möglichen Fehler soll aber dieses Resultat weniger genau seyn, als das durch Wägungen erhaltene.

481) Um dieselbe Zeit wurde ich veranlaſst, über die

---

1 Poggendorff's Ann. IX. 530.

Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten eine lange Reihe von Untersuchungen anzustellen, wobei mir zwei geübte Gehülfen, Dr. v. Könige und insbesondere Dr. Arneth, Letzterer auch bei den Berechnungen, sehr schätzbare thätige Hülfe leisteten[1]. Zu den Messungen dienten zwei Kugeln an genau calibrirten Thermometerröhren. Durch sehr mühselige, aber höchst sorgfältige Wägungen mit Quecksilber wurde die Ausdehnung des Glases für ungleiche Temperaturen und der Inhalt der Kugeln ermittelt, um die Werthe der willkürlichen Theile der Röhrchen, die durch die feinsten geätzten Linien auf ihnen bezeichnet waren, zu bestimmen. Damit die Ausdehnungen stärker wahrnehmbar würden, waren die Kugeln, vorzüglich die eine, im Verhältnifs zu den engen Röhren beträchtlich grofs; es mufste daher während der Versuche eine gewisse Menge der Flüssigkeit herausgetrieben und dann die Messung wieder fortgesetzt werden, wodurch jedoch der Genauigkeit der Resultate kein Abbruch geschah. Endlich ist noch zu bemerken, dafs die Thermometer genau geprüft waren; die Kugel des jedesmal angewandten wurde neben der des Mefsröhrchens in der Mitte eines Gefäfses mit Wasser oder für höhere Temperaturen mit vorher abgedampftem Olivenöl gehalten, während ein Gehülfe fortwährend diese Flüssigkeit mit einem Holzstäbchen umrührte; das sie enthaltende Gefäfs aber stand in einem gröfseren, mit Wasser gefüllten, oder über einer Weingeistlampe, und weil das Thermometer der gröfseren Kugel des Mefsröhrchens leicht vorauseilte, so wurde keine Beobachtung aufgezeichnet, bevor nicht der Thermometerstand mehrmals mit stets kleineren Unterschieden über und unter der bestimmten Temperatur geschwankt hatte und endlich mit dem Stande der Flüssigkeit im Röhrchen einige Zeit unverändert blieb[2]. Auf diese Weise wurden drei Reihen Beobachtungen vom Gefrierpuncte des Wassers an, wo-

---

1 Mém. prés. à l'Acad. Imp. des Sciences de St. Petersbourg par divers Savans. T. I. 1830. p. 249.

2 Diese Methode erfordert zwar viele Zeit, giebt aber sehr genaue Resultate. Es lassen sich die Ausdehnung der Flüssigkeit im Mefsröhrchen und die des Quecksilbers im Thermometer durch anhaltende Oscillationen einander so nahe bringen, dafs die geringsten Temperatur-Unterschiede bei beiden eine Veränderung nach der nämlichen Seite erzeugen, was evident die Gleichheit der Wärme beider darthut.

bei zugleich zur Controle des Thermometers schmelzender Schnee diente, bis zum Siedepuncte angestellt; in den beiden ersten wurden die beobachteten Gröfsen für die jedem Mefsröhrchen zugehörige Ausdehnung des Glases corrigirt, bei der dritten aber kam die Bd. I. S. 606 angegebene *Compensation* zur Anwendung[1]. Diese besteht einfach darin, dafs man so viel Quecksilber in die Kugel bringt, als erforderlich ist, um durch dessen Ausdehnung die des Glases aufzuheben. Heifst die zur Compensation erforderliche Menge Quecksilber y und der Coefficient seiner Ausdehnung k (nach Dulong und Petit $\frac{1}{5550}$ für 1° C.), der Coefficient der kubischen Ausdehnung des Glases aber k′, so ist für die Temperatur = t die Ausdehnung des Quecksilbers = ykt, die des Glases aber, die Gröfse der Kugel nach ihrem Inhalte = v gesetzt, = vk′t, und da beide gleich seyn sollen, erhält man $y = \frac{vk'}{k}$, wobei dann aber nicht zu übersehn ist, dafs die Quantität der in der Kugel befindlichen Flüssigkeit um so viel geringer wird, als die des aufgenommenen Quecksilbers beträgt. Diese Compensation ist sehr zu empfehlen; denn da die hiermit erhaltene Beobachtungsreihe mit zwei andern verglichen wurde, zeigte sie sich bei der Berechnung als hinlänglich genau, obgleich sie nur zur Prüfung der Zulässigkeit dieser Compensation angestellt wurde.

482) Es schien mir am angemessensten, das Mittel aus allen drei Beobachtungsreihen zu nehmen und hieraus die Curve der Ausdehnung des Wassers nach der von Thomas Young angegebenen Formel

$$\Delta v = at + bt^2 + ct^3 + dt^4$$

zu berechnen, die dann zugleich für $\frac{d.\Delta v}{dt} = 0$ das Minimum oder den Punct der gröfsten Dichtigkeit = 3°,78 gab. Inzwischen hatte sich die erwähnte Compensation der Ausdehnung des Glases durch Wärme so befriedigend gezeigt, dafs dieses den Wunsch erzeugte, vermittelst der Anwendung derselben den Punct der gröfsten Dichtigkeit des Wassers direct und unmittelbar zu finden. Auf diese Weise wurden die in folgender Tabelle enthaltenen Werthe gefunden, wenn t die Temperaturgrade nach C., $\vartheta$ die Theilstriche des Mefsröhrchens

---

1 Sie ist dort nicht richtig angegeben und daher hier verbessert.

bezeichnet und das Volumen des Wassers aus dem Verhältnisse eines Theilstriches zur Gesammtmasse des Inhalts berechnet ist.

| t | ϑ | Volumen | t | ϑ | Volumen |
|---|---|---|---|---|---|
| 0°,00 | 38,0 | 1,0000000 | 2°,50 | 37,0 | 0,9999018 |
| 0,50 | 37,7 | 0,9999705 | 2,75 | 36,9 | 0,9998919 |
| 0,75 | 37,6 | 0,9999607 | 3,00 | 36,9 | 0,9998919 |
| 1,00 | 37,5 | 0,9999509 | 3,25 | 36,8 | 0,9998822 |
| 1,25 | 37,4 | 0,9999411 | 3,50 | 36,8 | 0,9998822 |
| 1,50 | 37,4 | 0,9999411 | 3,75 | 36,8 | 0,9998822 |
| 1,75 | 37,3 | 0,9999313 | 4,00 | 36,9 | 0,9998919 |
| 2,00 | 37,2 | 0,9999214 | 4,25 | 36,9 | 0,9998919 |
| 2,25 | 37,1 | 0,9999116 | | | |

Das hier erhaltene Resultat ist sehr merkwürdig, wenn man die Genauigkeit der Beobachtungen erwägt. Auf die wenigen Bestimmungen wurden sicher drei Stunden verwandt, die gröfstentheils den zwischen 3° und 4° liegenden gewidmet waren, weil wir nicht abliefsen, nach dem eigentlichen scharfen Puncte der gröfsten Dichtigkeit, wobei das Wasser im Röhrchen ohne Correction vom Herabsinken zum Aufsteigen übergehen mufste, zu suchen, bis unsere unerschöpfliche Geduld an der Unmöglichkeit einer schärferen Bestimmung scheiterte, denn das scharf unterscheidbare Ende des Wasserfadens im Mefsröhrchen stand unbeweglich still, sobald die Temperatur über 3° hinausgegangen war, bis sie 4° erreicht hatte, und so umgekehrt, wenn wir bei abnehmender Temperatur beobachteten. Das gebrauchte Thermometer von Greiner, dessen Scale nur bis 30° R. reicht und in 0°,2 R. getheilt ist, so dafs sich also 0°,1 R. oder 0°,125 C. sehr genau schätzen läfst, gestattete keinen diese Gröfse übersteigenden Fehler, die Theilstriche des Mefsröhrchens liefsen keinen parallaktischen Fehler zu, denn durch Umdrehung desselben um seine Axe bildete die feine Theilungslinie einen Kreis, unter oder über welchem das Ende des Wasserfadens sich scharf messen liefs, die Quecksilber-Compensation im Röhrchen war die nämliche, womit die ganze dritte Reihe von Beobachtungen gemacht wurde, und wäre sie daher so viel zu grofs oder zu klein gewesen, um einen im Bereiche dieser wenigen Grade mefsbaren Fehler zu erzeugen, so mufste dieser vielfach vergröfsert in der Nähe des Siedepunctes auffallend hervortreten, was aber nicht statt fand. Alles dieses als ge-

gründet vorausgesetzt führt zu dem Resultate, dafs dicht über 3° und unter 4° C. ein Stillstandspunct in der Ausdehnung des Wassers eintritt, wo dieselbe gänzlich fehlt, oder zu gering ist, als dafs sie durch einen, dem von uns gebrauchten an Feinheit gleichen Apparat wahrnehmbar seyn sollte. Uebrigens werden auch bei andern Erscheinungen solche Stillstandspuncte angetroffen, z. B. bei dem Erkalten der Metalllegirungen (§. 457), und es hat daher nichts Widersprechendes, einen solchen beim Uebergange von der Ausdehnung zur Zusammenziehung anzunehmen, mindestens kann ich selbst, da ich diesem so einfachen Versuche, der keine Täuschung zuläfst und in so enge Fehlergrenzen eingeschlossen ist, beigewohnt habe, an der Existenz eines solchen Stillstandspunctes nicht zweifeln. Eins darf ich jedoch hier nicht unbemerkt lassen, und zwar aus Gründen, die aus den später folgenden Untersuchungen von selbst hervorgehn. Das gebrauchte Thermometer, dessen Nullpunct ich so oft zu untersuchen veranlafst wurde, hatte diesen bei — 0°,1 sehr genau; allein dieser Fehler ist nicht corrigirt worden, wie mir aus überwiegenden Gründen jetzt wahrscheinlich wird, und vermuthlich aus dem Grunde, weil uns nur daran gelegen war, in der Nähe von 4° den Punct des Minimums zu finden, und ich den Fehler bei der Vergleichung mit andern geprüften Thermometern nicht mehr wahrnahm, wenn die Temperatur bis über 3° C. gestiegen war. Bei nochmaliger Uebersicht der in der Tabelle mitgetheilten Werthe wird aber dieser Einflufs sichtbar, denn nach der Vergleichung mit den andern gefundenen Gröfsen konnte der Wasserfaden im Mefsröhrchen durch die Temperaturzunahme von 0° bis 0°,5 C. nicht von 38 Theilstrichen zu 37,7 übergehn. Obgleich ich aber überzeugt bin, dafs dieser Fehler, sofern er aus der Zusammenziehung des Glases folgt, wenige Grade über dem Nullpuncte wieder verschwindet[1], so wird es mir doch mehr als wahrscheinlich, dafs er gerade bei diesen, von unten auf angestellten Messungen von Einflufs war. Wenn wir demnach nicht annehmen wollen, dafs das Wasser genau beim Nullpuncte schon einer Ausdehnung entgegengeht, und daher den genannten Fehler als die Ursache des raschen Sprunges von 38 zu 37,7 erkennen, so würde dieser die ganze Reihe treffen, ungeachtet der grofsen Sorgfalt, die der scharfen

---

1 Vergl. *Thermometer* Bd. IX. S. 932. Anm.

Messung zwischen 3° und 4° gewidmet wurde. Hiernach würden daher die angegebenen Temperaturen um 0°,1 C. weiter rücken und der Stillstandspunct der Ausdehnung des Wassers begönne bei 3°,1 und endigte bei 4°,1. Gewiſs ist einmal, daſs dieser sogenannte Stillstandspunct bei dem gebrauchten Thermometer, wie oft auch mit zunehmenden oder abnehmenden Temperaturen gemessen wurde, stets zwischen 3° und 4° so lag, wie die Tabelle dieses angiebt.

483) Unterdeſs stellte auch Stampfer[1] eine Reihe von Beobachtungen an, wozu er sich der Methode der Abwägungen mit einem hohlen messingnen Cylinder bediente, damit derselbe leichter die Wärme des Wassers genau annehmen möchte, um hiernach seine eigene Ausdehnung zu corrigiren. Uebergehn wir die hiermit zugleich verbundene Bestimmung des absoluten Gewichtes eines bestimmten Volumens Wasser nach Wiener Maſs, und genügt im Allgemeinen die Bemerkung, daſs mit der für solche Messungen unerläſslichen Genauigkeit verfahren wurde, so wird bloſs erfordert, die zunächst sich auf die Ausdehnung des Wassers bezüglichen Resultate mitzutheilen. Die Versuche gehören zu Temperaturen zwischen — 0°,4 und + 30°,2 R. und geben, die einzelnen Reihen für sich berechnet, für den Punct der gröſsten Dichtigkeit im Minimum 2°,922 und im Maximum 3°,61, im Mittel aber 3° R. oder 3°,75 C. mit einer wahrscheinlichen Unsicherheit von ± 0°,014 R. Für die Dichtigkeit D des Wassers bei verschiedenen Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale giebt Stampfer dann folgende Gleichung, die gröſste Dichtigkeit = 1 gesetzt:

$$D = 0{,}999887 + 0{,}000060932\,t - 0{,}0000084236\,t^2 + 0{,}000000058\,t^3 - 0{,}0000000001217\,t^4,$$

wonach eine Tabelle der Dichtigkeiten von — 3° C. bis + 40° C. berechnet worden ist. Eine Vergleichung mit früheren Resultaten ergiebt, daſs die durch Stampfer gefundenen Dichtigkeiten geringer sind, als alle übrigen, namentlich auch als die durch Hällström und mich selbst gefundenen. Für die Dichtigkeit beim Siedepuncte giebt die Formel 0,9575742, statt daſs ich 0,9587371 erhalten habe, wonach also auch bis zu diesem Puncte jene Werthe stets geringer bleiben.

---

1 Jahrbuch des k. k. polyt. Instituts. Th. XVI. S. 1. Poggendorff's Ann. XXI. 75.

484) Um das so vielseitig untersuchte Problem zur definitiven Lösung zu bringen, hat Hällström die bis dahin bekannten bedeutenden Versuche, insbesondere die meinigen, einer eingreifenden Kritik unterworfen, wofür ihm das wissenschaftliche Publicum grofsen Dank schuldig ist, insbesondere aber ich selbst, da die Ueberlegenheit dieses gelehrten Physikers offen anzuerkennen mir nur Vergnügen machen kann. Zuerst sucht Hällström den von ihm gefundenen Coefficienten für die Ausdehnung des Glases zu rechtfertigen, indem er zeigt, dafs seine Messungen der Ausdehnung des Wassers, wenn sie nach andern Bestimmungen für den Einflufs des Glases corrigirt werden, den Punct der gröfsten Dichtigkeit offenbar zu niedrig geben. Dieses Argument dürfte von geringerem Gewichte seyn, als ein anderes, welches gleichfalls geltend gemacht wird, nämlich dafs das untersuchte Glas ein specielles von grofser Härte war. Anderweitige Untersuchungen zeigen aber, dafs die zusammengesetzten Körper von derjenigen Classe, wozu auch das Glas gehören mag, je nach ihrer Beschaffenheit sich sehr ungleich ausdehnen, wie aus der oben (§. 476) mitgetheilten Tabelle ersichtlich ist; aufserdem aber scheint das Glas in einer dem Gefrierpuncte des Wassers nahe liegenden Temperatur eigenthümlichen Gesetzen der Ausdehnung zu unterliegen, worauf die Verrückung des Gefrierpunctes der Thermometer beruhet. Wenn man aufserdem berücksichtigt, dafs Hällström's Messungen der Ausdehnung des Glases[1] nur zwischen 3° und 30° liegen, so dürfte dieses allerdings den dagegen erhobenen Zweifeln entgegenzustellen seyn. Hällström hat sich die Mühe genommen, seine Messungen der Ausdehnung des Wassers noch einmal, und zwar in der Art, dafs nicht das Endresultat, wie früher, sondern jede einzelne Messung für die Ausdehnung des Glases corrigirt ist, zu berechnen, und hieraus ergiebt sich dann der Punct der gröfsten Dichtigkeit bei 4°,031 mit einem möglichen Fehler von ± 0,134.

Um in Beziehung auf die gegen meine Messungen und Berechnungen gemachten Einwendungen kurz zu seyn, wird Folgendes genügen. Zuerst habe ich die Gleichung für die Curve der Ausdehnung des Wassers nur bis zur vierten Decimalstelle berechnet, was offenbar nachtheilig ist, sobald es sich um

1 Poggendorff's Ann. I. 151.

eine so feine Bestimmung handelt, als die des Punctes der gröfsten Dichtigkeit. Hiervon überzeugte ich mich später, als ich diesen Punct für den absoluten Alkohol suchte und ihn durch eine solche Gleichung offenbar unrichtig fand, obgleich den Messungen die gröfste Aufmerksamkeit gewidmet war; sehr natürlich mufste daher eine bis zur dritten Potenz reichende Rechnung merklich abweichende Resultate geben, nicht zu gedenken, dafs eine weiter fortgesetzte Rechnung eine solche Masse von Zahlen erfordert, dafs mögliche Verwirrungen kaum zu vermeiden sind. Zweitens aber habe ich mich überzeugt, dafs die von Thomas Young vorgeschlagene und seitdem überall angewandte Formel, wonach

$$Vt = 1 + at + bt^2 + ct^3 + \ldots.$$

gesetzt wird, die eigentliche Ausdehnungscurve nicht absolut genau giebt, wenn die Exponenten nach der Reihe der ganzen Zahlen zunehmen. Einen überzeugenden Beweis hiervon liefern die Versuche mit Schwefelsäure, die gewifs zu den vorzüglichsten unter allen gehören, und dennoch war es unmöglich, die durch Berechnung erhaltenen Werthe mit den durch Beobachtung gefundenen bis auf mäfsige Differenzen in Einklang zu bringen. Je ausgedehnter daher die Reihe der Beobachtungen ist, desto geringer wird die erforderliche Uebereinstimmung. Der Werth der durch unglaubliche Mühe erhaltenen, in beiden Abhandlungen veröffentlichten, Untersuchungen liegt diesemnach hauptsächlich in den sehr genauen Messungen. Es war daher ein sehr glücklicher Gedanke und eine höchst verdienstliche Arbeit Hällström's, dafs er zur endlichen Erledigung des so langen ventilirten Problems jede der von mir gemachten Beobachtungsreihen einzeln nach der Methode der kleinsten Quadrate, jedoch nur von 0° bis 33° C., berechnete, um den Einflufs der höheren Grade auf die Bestimmung des Punctes der gröfsten Dichtigkeit auszuschliefsen. Auf diese Weise giebt die erste Versuchsreihe für den Punct der gröfsten Dichtigkeit

$$t' = 3^\circ{,}879 \pm 0^\circ{,}058 \text{ C.}$$

und die zweite

$$t' = 3^\circ{,}972 \pm 0^\circ{,}159,$$

die 3te weicht hiervon beträchtlich ab, indem sie $t = 3^\circ{,}406 \pm 0^\circ{,}206$ giebt. Hierunter ist die erste offenbar die zuverlässigste, weil

sie 33 Werthe für einzelne Grade enthält und die Versuche aufserdem mit dem gröfseren, durch B bezeichneten Mefsröhrchen angestellt wurden; die dritte Reihe dagegen ist in der Abhandlung selbst S. 40 als die mindest zuverlässige angegeben und sollte hauptsächlich dienen, die Anwendbarkeit der Compensation zu prüfen. Auch die durch STAMPFER gemachten Messungen sind durch HÄLLSTRÖM einer abermaligen Berechnung unterworfen morden und geben für den Punct der gröfsten Dichtigkeit des Wassers:

$$t' = 3^\circ,755 \pm 0^\circ,073,$$

oder, wenn die über 25° C. liegenden Beobachtungen wegen eines in ihnen vorhandenen constanten Fehlers ausgeschlossen werden:

$$t' = 3^\circ,790 \pm 0^\circ,140 \text{ C.}$$

Hiernach wären also für die Lösung dieses Problems folgende Werthe vorhanden:

$$\text{nach HÄLLSTRÖM } t' = 4^\circ,03 \pm 0^\circ,135 \begin{cases} 4^\circ,165 \\ 3,897 \end{cases}$$

$$\text{— MUNCKE } t' = 3^\circ,879 \pm 0,058 \begin{cases} 3,937 \\ 3,821 \end{cases}$$

$$\text{— MUNCKE } t' = 3,972 \pm 0,159 \begin{cases} 4,131 \\ 3,813 \end{cases}$$

$$\text{— STAMPFER } t' = 3,790 \pm 0,140 \begin{cases} 3,930 \\ 3,650. \end{cases}$$

Diese Werthe stimmen so genau überein, als die Fehlergrenze gestattet, und geben im Mittel

$$t' = 3^\circ,92 \text{ C.}$$

Wenn man aber nach HÄLLSTRÖM den Mittelwerth mit Berücksichtigung des Gewichts eines jeden sucht, so findet man

$$t' = 3^\circ,90 \pm 0,04,$$

und dieses mufs für so genau gelten, als der gegenwärtige Zustand der Wissenschaft die Bestimmung gestattet[1].

---

1 Dieses Resultat, von einem so gelehrten Physiker durch den mühsamsten Calcül erhalten, kann nur vom höchsten Interesse seyn, denn es beweist die Genauigkeit der angestellten Versuche, und erweckt um so mehr das Vertrauen zu meinen übrigen, als gerade diese die ersten waren und also leicht die am wenigsten zuverlässigen

Zur Auffindung des Volumens und der Dichtigkeit des reinen Wassers für die Temperaturen von 0° bis 100° C. wählt Hällström auf gleiche Weise zweckmäſsig diejenigen Formeln, welche sich bei der Prüfung am geeignetsten zur Bestimmung der Temperatur der gröſsten Dichtigkeit erwiesen haben, nämlich die aus seinen eigenen Messungen, die beiden aus meinen zwei ersten Versuchsreihen und die aus Stampfer's Messungen erhaltene. Alle vier vereint geben im Mittel für die Temperaturen von 0° bis 30° C. den Ausdruck:

$$V = 1 - 0{,}000057577\,t + 0{,}0000075601\,t^2 - 0{,}000000035091\,t^3,$$

welcher den Punct der gröſsten Dichtigkeit bei 3°,92 giebt. Für die Temperaturen von 30° bis 100° findet er es am geeignetsten, die von mir in allen drei Versuchsreihen erhaltenen Werthe nach der von ihm verbesserten Berechnung zu vereinigen, woraus dann im Mittel erhalten wird:

$$V = 1 - 0{,}0000094178\,t + 0{,}00000533661\,t^2 - 0{,}0000000104086\,t^3.$$

Hieraus ist dann folgende Tabelle der Volumina und Dichtigkeiten des Wassers von 0° bis 100° C. entstanden.

| t | Volum. | Dichtigkeit | t | Volum. | Dichtigkeit |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 1,000000 | 1,000000 | 6° | 0,999919 | 1,000081 |
| 1 | 0,999950 | 1,000050 | 7 | 0,999956 | 1,000044 |
| 2 | 0,999915 | 1,000080 | 8 | 0,999996 | 0,999994 |
| 3 | 0,999894 | 1,000106 | 9 | 1,000069 | 0,999931 |
| 3,9 | 0,999882 | 1,000118 | 10 | 1,000145 | 0,999855 |
| 4 | 0,999888 | 1,000112 | 11 | 1,000235 | 0,999765 |
| 5 | 0,999897 | 1,000103 | 12 | 1,000338 | 0,999662 |

seyn konnten. Die dritte Versuchsreihe wurde von mir selbst als minder zuverlässig angegeben; daſs ich sie dennoch mit den beiden übrigen vereinigte, war auf gleiche Weise ein Fehler, als die Berechnung bis zur vierten Decimalstelle. Nehmen wir das Resultat hinzu, welches durch unmittelbare Messung mit Anwendung der gewählten Compensation erhalten wurde, so stimmt dieses vollständig hiermit überein, denn es geht mit Berücksichtigung des wahrscheinlichen Fehlers daraus hervor, daſs das Wasser bei abnehmender Temperatur sich bis 4° C. zusammenzieht, unmittelbar unter diesem Puncte aber in diesem Zustande mit unmeſsbarer Veränderung beharrt, bis seine Ausdehnung wieder wahrnehmbar wird.

| t | Volum. | Dichtigkeit | t | Volum. | Dichtigkeit |
|---|---|---|---|---|---|
| 13° | 1,000453 | 0,999547 | 57° | 1,014891 | 0,985328 |
| 14 | 1,000581 | 0,999419 | 58 | 1,015392 | 0,984842 |
| 15 | 1,000720 | 0,999280 | 59 | 1,015894 | 0,984355 |
| 16 | 1,000872 | 0,999128 | 60 | 1,016398 | 0,983867 |
| 17 | 1,001035 | 0,998966 | 61 | 1,016930 | 0,983383 |
| 18 | 1,001210 | 0,998791 | 62 | 1,017464 | 0,982898 |
| 19 | 1,001397 | 0,998605 | 63 | 1,018000 | 0,982412 |
| 20 | 1,001594 | 0,998408 | 64 | 1,018538 | 0,981925 |
| 21 | 1,001802 | 0,998201 | 65 | 1,019078 | 0,981280 |
| 22 | 1,002022 | 0,997982 | 66 | 1,019644 | 0,980736 |
| 23 | 1,002251 | 0,997754 | 67 | 1,020212 | 0,980191 |
| 24 | 1,002491 | 0,997515 | 68 | 1,020780 | 0,979645 |
| 25 | 1,002741 | 0,997267 | 69 | 1,021350 | 0,979099 |
| 26 | 1,003001 | 0,997008 | 70 | 1,021920 | 0,978550 |
| 27 | 1,003271 | 0,996740 | 71 | 1,022531 | 0,977979 |
| 28 | 1,003549 | 0,996463 | 72 | 1,023143 | 0,977407 |
| 29 | 1,003837 | 0,996178 | 73 | 1,023756 | 0,976834 |
| 30 | 1,004216 | 0,995802 | 74 | 1,024370 | 0,976260 |
| 31 | 1,004523 | 0,995498 | 75 | 1,024986 | 0,975685 |
| 32 | 1,004831 | 0,995193 | 76 | 1,025603 | 0,975089 |
| 33 | 1,005140 | 0,994887 | 77 | 1,026221 | 0,974492 |
| 34 | 1,005449 | 0,994580 | 78 | 1,026840 | 0,973894 |
| 35 | 1,005761 | 0,994272 | 79 | 1,027459 | 0,973295 |
| 36 | 1,006106 | 0,993931 | 80 | 1,028072 | 0,972695 |
| 37 | 1,006452 | 0,993489 | 81 | 1,028728 | 0,972074 |
| 38 | 1,006799 | 0,993146 | 82 | 1,029385 | 0,971454 |
| 39 | 1,007147 | 0,992802 | 83 | 1,030043 | 0,970833 |
| 40 | 1,007496 | 0,992560 | 84 | 1,030702 | 0,970211 |
| 41 | 1,007898 | 0,992180 | 85 | 1,031364 | 0,969590 |
| 42 | 1,008207 | 0,991799 | 86 | 1,032047 | 0,968950 |
| 43 | 1,008610 | 0,991418 | 87 | 1,032731 | 0,968309 |
| 44 | 1,009021 | 0,991036 | 88 | 1,033416 | 0,967667 |
| 45 | 1,009434 | 0,990654 | 89 | 1,034102 | 0,967024 |
| 46 | 1,009859 | 0,990240 | 90 | 1,034791 | 0,966379 |
| 47 | 1,010285 | 0,989825 | 91 | 1,035500 | 0,965718 |
| 48 | 1,010712 | 0,989409 | 92 | 1,036210 | 0,965056 |
| 49 | 1,011139 | 0,988992 | 93 | 1,036921 | 0,964393 |
| 50 | 1,011570 | 0,988563 | 94 | 1,037633 | 0,963729 |
| 51 | 1,012033 | 0,988184 | 95 | 1,038346 | 0,963070 |
| 52 | 1,012497 | 0,987704 | 96 | 1,039078 | 0,962392 |
| 53 | 1,012962 | 0,987323 | 97 | 1,039811 | 0,961713 |
| 54 | 1,013438 | 0,986941 | 98 | 1,040545 | 0,961033 |
| 55 | 1,013894 | 0,986297 | 99 | 1,041280 | 0,960352 |
| 56 | 1,014382 | 0,985813 | 100 | 1,042016 | 0,959678 |

485) Eine werthvolle Untersuchung von DESPRETZ[1] habe ich bisher nicht berücksichtigt, weil es unnöthige Mühe verursacht haben würde, die durch sie erhaltenen Resultate in die höchst vollendete Arbeit HÄLLSTRÖM's aufzunehmen. DESPRETZ wendet gegen meine Versuche ein, daſs zuerst die Lage des Nullpunctes der gebrauchten Thermometer nicht corrigirt worden sey, was aber schon deswegen unmöglich war, weil alle Versuche von diesem Puncte ausgingen, wodurch dieser Fehler von selbst auffallen und daher nothwendig corrigirt werden muſste. Zweitens erinnert er gegen die Ausdehnung des Glases, daſs sie zwar mit der von LAVOISIER und LAPLACE, nicht aber mit der von DULONG und PETIT gefundenen übereinstimme, obwohl man doch jetzt unfehlbar genauer experimentire, als im Jahre 1786. Dieses Argument dürfte aber schwerlich bei irgend einem Physiker Eingang finden; denn so achtungswerth auch der gelehrte DULONG seyn mag, so können doch jene Koryphäen der Wissenschaft unmöglich durch ihn so in Schatten gestellt werden, daſs ihre Autorität gänzlich verschwinden müſste. Auſserdem aber liegen die durch mich gefundenen Gröſsen nebst dem Verfahren, woraus sie sich ergaben, zur Beurtheilung vor und ihre Uebereinstimmung mit jenen kann ihnen doch unmöglich zum gegründeten Vorwurfe gereichen. Ein dritter Einwurf dagegen, daſs ich den Punct der gröſsten Dichtigkeit aus der Curve der Ausdehnung zwischen 0° bis 100° C. abgeleitet habe, ist allerdings begründet, und ich habe mich darüber bereits erklärt.

DESPRETZ wählte zur ersten Reihe seiner Versuche das von mir angewandte Verfahren, indem er ein mit Wasser gefülltes Thermometer neben einem Quecksilberthermometer aufhing und den Stand beider von 2 zu 2 Minuten aufzeichnete. Ich gestehe, daſs ich nach meinen Erfahrungen mir nicht getrauen würde, wegen des in Folge der höchst verschiedenen Wärmecapacität beider Flüssigkeiten sehr ungleichen Ganges dieser zwei Instrumente, durch dieses Verfahren genügende Resultate zu erlangen, weswegen ich vielmehr beide Thermome-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 1 ff. L'Institut 5me Ann. N. 191. p. 30. Compt. rend. 1837. T. IV. p. 124 u. 435. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXI. p. 1 ff. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. XLI. 58.

ter so lange um den Gleichheitspunct durch geringes Steigen und Fallen schwanken liefs, bis ich überzeugt war, diesen wirklich erreicht zu haben. Auffallend ist zugleich, dafs die Ausdehnung des Wassers bis — 9° C. im Versuche gemessen wurde, da sich zwar das Wasser so tief erkälten läfst, leicht aber bei der geringsten Bewegung gefriert und dann die Kugel zersprengen würde, deren Inhalt nicht ohne unsägliche Mühe bestimmbar ist. Inzwischen wurde auf diese Weise der Punct der gröfsten Dichtigkeit bei 4°,007 C. gefunden. In einer zweiten Versuchsreihe wurde die von Rumford und Tralles befolgte Methode angewandt. Das Wasser befand sich in einem porzellanenen Gefäfse, an dessen beiden Seiten zwei Thermometer über einander hingen. Durch leises Aufschlagen sollte die Bewegung der Wassertheilchen erleichtert werden, ein Mittel, dessen Zulässigkeit sehr zu bezweifeln seyn dürfte, weswegen auch alle andere Beobachter jede Erschütterung vermieden haben. Indem dann das Gefäfs durch die äufsere Temperatur langsam erkaltete oder erwärmt wurde und demnach das dichtere Wasser herabsank, zeigte der Stand der Thermometer die Temperatur desselben im Puncte der gröfsten Dichtigkeit. Nach angebrachten Correctionen gaben die Versuche im Mittel hierfür die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit oder t = 3°,987 C. und also, wenn beide Resultate vereint werden, t = 3°,997, wofür in runder Zahl 4° genommen wird. Despretz untersuchte demnächst die Ausdehnung des Wassers für die Temperaturen von 4° C. bis 100°, und erhielt für den Siedepunct das Volumen = 1,04315, welche Gröfse von dem Mittel aus meinen drei Versuchsreihen = 1,04208 um 0,00107 und von dem durch Rechnung gefundenen = 1,04201 um 0,00114 abweicht.

Despretz[1] hat später nochmals die Temperatur des Wassers im Puncte der gröfsten Dichtigkeit durch mehrere Versuchsreihen auszumitteln gesucht und sich dabei abermals der mit Wasser gefüllten Thermometer bedient. Er benutzte deren zwei und erhielt mit dem ersten derselben in der ersten Versuchsreihe aus Messungen zwischen 7°,48 C. und 2°,17 im Mittel 3°,9923; in der zweiten aus Messungen zwischen 7°,18 und 2°,59 unmerklich abweichend 3°,9975; in der dritten,

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 296. L'Institut 8me Ann. N. 318. p. 38.

welche Messungen zwischen 1° und 5° umfaſste, 4°,0064; in der vierten endlich, welche sich gleichfalls von 1° bis 5° erstreckte, 3°,9546. Mit einem zweiten Meſsröhrchen stellte er gleichfalls vier Versuchsreihen an, und fand durch die erste Versuchsreihe, welche zwischen 1° und 5° C. angestellt wurde, die Temperatur des Wassers bei gröſster Dichtigkeit = 3°,9918; durch die zweite, die sich von 2°,59 bis 7°,18 erstreckte, 4°,0208; durch die dritte, welche die Temperaturen von 2°,47 bis 7°,48 umfaſste, 4°,0728; durch die vierte endlich, wobei die Temperaturen zwischen 1°,41 und 7°,77 lagen, 4°,0231. Das Mittel aus allen 8 Versuchsreihen, wobei jedoch nicht alle gefundene Werthe genommen wurden, sondern im Ganzen nur die 11 vorzüglichsten, giebt die Temperatur des Wassers im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit = 4°,004 mit der gröſsten Abweichung von 0°,1182. Indem aber durch seine ersten, mit vier verschiedenen Meſsröhrchen angestellten Versuche im Mittel hierfür 3°,995 gefunden wurde, so glaubt er, man könne unbedenklich 4° in runder Zahl annehmen. Es ist zwar nicht wahrscheinlich, daſs die Temperatur des Wassers im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit mit einem ganzen Grade der hunderttheiligen oder irgend einer sonstigen Thermometerscale zusammenfallen sollte, und schon deswegen würde dem oben angegebenen Resultate der Vorzug gebühren, allein der Unterschied ist so unbedeutend, daſs man diese Bestimmung in runder Zahl auf jeden Fall als sehr nahe richtig betrachten und in Anwendung bringen darf. Endlich soll die Ausdehnung des Wassers unter dem Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit, diesen bei 4° C. angenommen, für gleiche Temperaturunterschiede etwas gröſser seyn, als über demselben, was allerdings mit den in der oben mitgetheilten Tabelle angegebenen Gröſsen übereinstimmt, indem das Volumen = 1 bei $0_0$ C. nur 0,999996 bei 8° ist, da aber der Unterschied erst in die sechste Decimalstelle fällt, so entschwindet er der Messung.

Eine andere Reihe schätzbarer Versuche von Despretz, wodurch er gefunden hat, daſs der Punct der gröſsten Dichtigkeit des Wassers durch Zusatz von Salzen tiefer herabsinkt, wird zweckmäſsiger im folgenden Abschnitte erwähnt werden, da sie sich zugleich auf das Gefrieren bezieht.

### β) Ausdehnung des Seewassers.

487) Zur Auffindung der Ausdehnungsgesetze des Seewassers habe ich gleichfalls eine Reihe von Beobachtungen angestellt[1], woraus hervorgeht, dafs die nicht sehr bedeutende Quantität der in dieser Flüssigkeit aufgelösten Salze die Ausdehnung desselben entweder gar nicht oder nur unmerklich abändert; denn es ist zwar das Volumen des Seewassers bei 100° C. = 1,044209 und die des reinen Wassers nur = 1,042085 nach meinen Beobachtungen, allein wenn man überlegt, dafs diese Gröfse erst von 4° an beginnt, jene aber bei 0° C., so ergiebt sich ein geringer Ueberschufs der Ausdehnung des reinen Wassers, wonach also die Gröfse derselben durch die aufgelösten Salze um eine Kleinigkeit vermindert wird, übereinstimmend mit dem allgemeinen Gesetze, dafs die dichtesten Körper die geringste Ausdehnung haben. Die Untersuchungen über die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit des Seewassers werden am zweckmäfsigsten mit denen über seinen Gefrierpunct vereinigt.

Es ist zwar weit minder wichtig, die Ausdehnungsgesetze für Seewasser, als für reines Wasser zu kennen; da ich sie aber durch Versuche ermittelt habe, so theile ich hier den aufgefundenen analytischen Ausdruck mit und eine abgekürzte Tabelle der hiernach berechneten Werthe, die von den durch Beobachtung erhaltenen nur unmerklich abweichen. Die Formel ist:

$$V = 1 + 0{,}00005769938\,t + 0{,}0000050963886\,t^2 - 0{,}000000018733\,t^3 + 0{,}00000000006178\,t^4.$$

Sie giebt folgende Gröfsen für Centesimalgrade:

---

1 Mém. prés. p. 62. Erman's Untersuchungen s. §. 497.

| t | Volumen | Dichtigkeit | t | Volumen | Dichtigkeit |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,000000 | 1,000000 | 25 | 1,004359 | 0,995659 |
| 1 | 1,000063 | 0,999937 | 26 | 1,004644 | 0,995377 |
| 2 | 1,000136 | 0,999864 | 27 | 1,004937 | 0,995089 |
| 3 | 1,000218 | 0,999781 | 28 | 1,005238 | 0,994779 |
| 4 | 1,000311 | 0,999688 | 29 | 1,005546 | 0,994484 |
| 5 | 1,000414 | 0,999586 | 30 | 1,005861 | 0,994172 |
| 6 | 1,000526 | 0,999474 | 31 | 1,006185 | 0,993852 |
| 7 | 1,000647 | 0,999353 | 32 | 1,006516 | 0,993525 |
| 8 | 1,000778 | 0,999222 | 33 | 1,006854 | 0,993183 |
| 9 | 1,000919 | 0,999082 | 34 | 1,007199 | 0,992852 |
| 10 | 1,001068 | 0,998933 | 35 | 1,007552 | 0,992504 |
| 11 | 1,001227 | 0,998828 | 40 | 1,009421 | 0,990666 |
| 12 | 1,001395 | 0,998671 | 45 | 1,011463 | 0,988669 |
| 13 | 1,001572 | 0,998430 | 50 | 1,013670 | 0,986425 |
| 14 | 1,001757 | 0,998245 | 55 | 1,016038 | 0,984214 |
| 15 | 1,001952 | 0,998052 | 60 | 1,018563 | 0,981775 |
| 16 | 1,002155 | 0,997864 | 65 | 1,021241 | 0,979201 |
| 17 | 1,002367 | 0,997649 | 70 | 1,024069 | 0,976496 |
| 18 | 1,002587 | 0,997418 | 75 | 1,027046 | 0,973666 |
| 19 | 1,002816 | 0,997202 | 80 | 1,030172 | 0,970712 |
| 20 | 1,003053 | 0,996957 | 85 | 1,033446 | 0,967636 |
| 21 | 1,003298 | 0,996713 | 90 | 1,036871 | 0,964440 |
| 22 | 1,003551 | 0,996461 | 95 | 1,040447 | 0,961125 |
| 23 | 1,003812 | 0,996203 | 100 | 1,044178 | 0,957690 |
| 24 | 1,004082 | 0,995935 | | | |

Zum Behuf der Messungen der mit der Tiefe abnehmenden Temperatur des Meeres entschloſs sich Lenz[1] zu ähnlichen Versuchen über die Ausdehnung des Salzwassers von 1,02 und 1,03 specifischem Gewicht, zwischen denen das des Seewassers liegt, um zu der Ueberzeugung zu gelangen, daſs ein solcher Unterschied des specifischen Gewichts auf das Gesetz der Ausdehnung keinen bedeutenden Einfluſs habe. Die nachherigen sorgfältigen Versuche mit Salzwasser von 1,027 specifischem Gewichte umfassen nur die Temperaturen von 7°,5 bis 30° C.; hierzu nahm er die durch Erman gefundenen Werthe von 0° bis 8°,75, die er seinen eigenen Bestimmungen anpaſste, und erhielt dann nicht für die Vermehrung des Volumens, sondern

1 Mém. de l'Acad. de Petersb. VIme Sér. T. I. p. 251. Poggendorff's Ann. XX. 113. Vergl. Art. *Meer*. Bd. VI. S. 1673.

für die *Verminderung der Dichtigkeit* durch Temperaturzunahme folgende Formel:

$$\delta = 1 - 0{,}00020533\,t + 0{,}0000003723\,t^2 - 0{,}000000188086\,t^3$$

für Grade der achtzigtheiligen Scale, also für Centesimalgrade

$$\delta' = 1 - 0{,}000164265\,t + 0{,}000000238272\,t^2 - 0{,}0000000963\,t^3.$$

Lenz hat hiernach eine Tabelle für die Dichtigkeit des Salzwassers bei den Temperaturen von 0° bis 24° R. berechnet. Die hieraus erhaltenen Werthe stimmen in den unteren Graden sehr nahe mit den nach meiner Formel berechneten überein, die Unterschiede wachsen aber zunehmend und bleiben stets positiv, sofern die Dichtigkeit nach mir gröſser ist; sie betragen für 5° C. 0,000413; für 10° C. 0,000647; für 15° C. 0,000786; für 20° C. 0,000944; für 25° C. 0,001121; für 30° C. 0,001486 und für 100° C. 0,068033. Es folgt also hieraus, daſs eine der beiden Gleichungen mit einem constanten Fehler behaftet sey, und dieses dürfte nach Wahrscheinlichkeitsgründen die durch Lenz gefundene treffen; denn erstlich ist sie aus der Zusammensetzung zweier mit verschiedenen Flüssigkeiten und unter ungleichen Bedingungen angestellten Versuchsreihen entstanden, und zweitens würde nach ihr die Dichtigkeit des Salzwassers in der Siedehitze um 0,070022 geringer seyn, als die des reinen Wassers, was wohl nicht möglich ist, statt daſs sie nach meiner Formel nur 0,001988 kleiner ist, was daher rührt, daſs die Einheit des Wassers bei 3°,9 C., die des Seewassers aber bei 0° C. genommen ist. Für die praktische Anwendung übrigens, wenn man nicht über 30° hinausgeht, ist dieser Unterschied nicht eben bedeutend, denn er beträgt bei dieser Temperatur nicht mehr als nahe ein und ein halbes Tausendstel.

### γ) Ausdehnung des Weingeistes.

488) Die im ersten Theile dieses Werkes angegebenen Untersuchungen über die Ausdehnung des Weingeistes habe ich seitdem durch zwei Versuchsreihen vermehrt, welche beide auf gleiche Weise, als die für Wasser, angestellt wurden. In der ersten war der Alkohol nicht absoluter, denn sein speci-

fisches Gewicht betrug 0,808 bei 12°,5 C. und würde also bei 20° C. nur 0,801 betragen, statt dafs Richter und Meissner dasselbe 0,792 und 0,791 fanden. Die Messungen wurden für jeden fünften Grad angestellt und gaben folgenden analytischen Ausdruck für das Volumen des Weingeistes für die verschiedenen Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale, das bei 0° als Einheit angenommen:

$$V = 1 + 0{,}000989666\,t + 0{,}00000303489\,t^2 \\ - 0{,}0000000395924\,t^3 + 0{,}00000000036364\,t^4,$$

wonach die der gröfsten Dichtigkeit zugehörige Temperatur — 56°,5 C. beträgt.

Das Gesetz der Ausdehnung des Weingeistes genau zu kennen ist noch stets von grofser Wichtigkeit, weil diese Flüssigkeit fortwährend zu Thermometern genommen wird, womit man die Temperaturen unter dem Gefrierpuncte des Quecksilbers zu messen beabsichtigt, und ich habe daher in der mehrerwähnten Abhandlung ausführliche Untersuchungen über die Mittel angestellt, wodurch die Grade solcher Weingeistthermometer auf Grade des Luftthermometers reducirt werden können; allein es läfst sich keine absolute Genauigkeit hierin erlangen, weil man nie versichert ist, wie rein der von den Künstlern angewandte Alkohol gewesen seyn mag, obendrein wenn er mit einer färbenden Substanz verbunden ist; da aber sicher nicht selten solcher Alkohol, wie der untersuchte, zu Thermometern verwandt wird, so möge folgende Tabelle hier Platz finden, die rücksichtlich der Correctionen der Weingeistthermometer von Nutzen seyn kann, insbesondere sofern hierzu gewifs nur selten absoluter Alkohol genommen wird.

| t | Volumen | Dichtigkeit | t | Volumen | Dichtigkeit |
|---|---|---|---|---|---|
| —50 | 0,965326 | 1,035920 | 2 | 1,001991 | 0,998013 |
| —48 | 0,965797 | 1,035414 | 4 | 1,004005 | 0,996011 |
| —46 | 0,966379 | 1,034790 | 6 | 1,006039 | 0,993997 |
| —44 | 0,967065 | 1,034056 | 8 | 1,008093 | 0,991972 |
| —42 | 0,967852 | 1,033215 | 10 | 1,010164 | 0,989938 |
| —40 | 0,968734 | 1,032274 | 12 | 1,012252 | 0,987896 |
| —38 | 0,969706 | 1,031240 | 14 | 1,014355 | 0,985848 |
| —36 | 0,970763 | 1,030117 | 16 | 1,016473 | 0,983794 |
| —34 | 0,971902 | 1,028910 | 18 | 1,018604 | 0,981735 |
| —32 | 0,973117 | 1,027625 | 20 | 1,020749 | 0,979673 |
| —30 | 0,974405 | 1,026267 | 22 | 1,022905 | 0,977608 |
| —28 | 0,975761 | 1,024841 | 24 | 1,025073 | 0,975540 |
| —26 | 0,977182 | 1,023550 | 26 | 1,027253 | 0,973470 |
| —24 | 0,978664 | 1,021801 | 28 | 1,029444 | 0,971398 |
| —22 | 0,980203 | 1,020104 | 30 | 1,031647 | 0,969324 |
| —20 | 0,981795 | 1,018541 | 32 | 1,033861 | 0,967248 |
| —18 | 0,983438 | 1,016840 | 34 | 1,036087 | 0,965170 |
| —16 | 0,985128 | 1,015096 | 36 | 1,038325 | 0,963090 |
| —14 | 0,986862 | 1,013313 | 38 | 1,040575 | 0,961007 |
| —12 | 0,988637 | 1,011494 | 40 | 1,042839 | 0,958920 |
| —10 | 0,990450 | 1,009642 | 42 | 1,045118 | 0,956830 |
| — 8 | 0,992299 | 1,007761 | 44 | 1,047411 | 0,954735 |
| — 6 | 0,994180 | 1,005854 | 46 | 1,049721 | 0,952634 |
| — 4 | 0,996092 | 1,003923 | 48 | 1,052048 | 0,950527 |
| — 2 | 0,998033 | 1,001971 | 50 | 1,054394 | 0,948412 |

Ungleich wichtiger ist es, das Gesetz der Ausdehnung des *absoluten Alkohols* zu kennen, und ich habe daher auch hierüber Versuche angestellt[1]. Der dazu verwandte Alkohol war durch L. Gmelin absichtlich für diesen Zweck bereitet und hatte bei 0° C. ein specifisches Gewicht = 0,8062 gegen Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit, wonach dasselbe bei 20° C. = 0,791108, übereinstimmend mit andern Angaben, seyn würde. Zu den Versuchen wurden die vorher wiederholt gebrauchten Apparate verwandt, und wir glaubten bereits eine bedeutende Fertigkeit in diesen Operationen erlangt zu haben, allein dennoch deuteten die Unterschiede zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen auf unerwar-

1 Sur la dilatation de l'alcool absolu et de la carbure de soufre; in Mém. de la Soc. Imp. des Sc. de Petersb. 1834.

tete Fehler, von denen sich aber annehmen läſst, daſs sie durch die in groſser Zahl vorhandenen Beobachtungen ausgemerzt werden, da die positiven und negativen Unterschiede sich völlig aufheben. Dreiſsig solche, als zuverlässig zu betrachtende, zwischen — 15° und + 65° gefundene Werthe, deren einige doppelt waren und wegen geringer Verschiedenheit das arithmetische Mittel zu nehmen gestatteten, geben folgende Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}0010151148\,t + 0{,}0000030884\,t^2 - 0{,}0000000192458\,t^3,$$

wonach die dem Puncte der gröſsten Dichtigkeit zugehörige Temperatur sehr nahe — 89°,5 C. beträgt. Die Formel weicht von der für nicht absoluten Alkohol gefundenen nur wenig ab, und es wird dadurch wahrscheinlich, daſs beide das Gesetz der Ausdehnung dieser Flüssigkeit sehr genau ausdrücken. Aus dieser Ursache, und da man insbesondere neuerdings die tiefsten Grade der Kälte mit Thermometern gemessen hat, die wohl ohne Zweifel mit absolutem Alkohol gefüllt waren, theile ich nachfolgend eine ausführliche Tabelle der Volumina mit, durch welche die Dichtigkeiten leicht gefunden werden, wenn man diese Werthe in die Einheit dividirt.

| t | Volumen | t | Volumen | t | Volumen |
|---|---|---|---|---|---|
| —100 | 0,948618 | — 64 | 0,952728 | — 29 | 0,973628 |
| — 98 | 0,948293 | — 62 | 0,953521 | — 28 | 0,974421 |
| — 96 | 0,948039 | — 60 | 0,954368 | — 27 | 0,975222 |
| — 94 | 0,947854 | — 58 | 0,955267 | — 26 | 0,976033 |
| — 92 | 0,947736 | — 56 | 0,956218 | — 25 | 0,976853 |
| — 90 | 0,947686 | — 54 | 0,957220 | — 24 | 0,977682 |
| — 88 | 0,947702 | — 52 | 0,958271 | — 23 | 0,978520 |
| — 86 | 0,947783 | — 50 | 0,959371 | — 22 | 0,979367 |
| — 84 | 0,947929 | — 48 | 0,960518 | — 21 | 0,980223 |
| — 82 | 0,948138 | — 46 | 0,961713 | — 20 | 0,981087 |
| — 80 | 0,948411 | — 44 | 0,962953 | — 19 | 0,981960 |
| — 78 | 0,948744 | — 42 | 0,964239 | — 18 | 0,982841 |
| — 76 | 0,949138 | — 40 | 0,965568 | — 17 | 0,983730 |
| — 74 | 0,949592 | — 38 | 0,966941 | — 16 | 0,984628 |
| — 72 | 0,950105 | — 36 | 0,968356 | — 15 | 0,985533 |
| — 70 | 0,950676 | — 34 | 0,969813 | — 14 | 0,986446 |
| — 68 | 0,951304 | — 32 | 0,971309 | — 13 | 0,987368 |
| — 66 | 0,951988 | — 30 | 0,972846 | — 12 | 0,988297 |

| t | Volumen | t | Volumen | t | Volumen |
|---|---|---|---|---|---|
| — 11 | 0,989233 | 10 | 1,010441 | 31 | 1,033863 |
| — 10 | 0,990177 | 11 | 1,011514 | 32 | 1,035016 |
| — 9 | 0,991128 | 12 | 1,012593 | 33 | 1,036170 |
| — 8 | 0,992086 | 13 | 1,013676 | 34 | 1,037328 |
| — 7 | 0,993052 | 14 | 1,014641 | 35 | 1,038487 |
| — 6 | 0,994025 | 15 | 1,015857 | 36 | 1,039649 |
| — 5 | 0,995004 | 16 | 1,016954 | 38 | 1,041978 |
| — 4 | 0,995990 | 17 | 1,018055 | 40 | 1,044314 |
| — 3 | 0,996983 | 18 | 1,019160 | 42 | 1,046657 |
| — 2 | 0,997982 | 19 | 1,020270 | 44 | 1,049005 |
| — 1 | 0,998988 | 20 | 1,021384 | 46 | 1,051357 |
| 0 | 1,000000 | 21 | 1,022501 | 48 | 1,053713 |
| + 1 | 1,001018 | 22 | 1,023622 | 50 | 1,056071 |
| 2 | 1,002042 | 23 | 1,024747 | 52 | 1,058431 |
| 3 | 1,003073 | 24 | 1,025876 | 54 | 1,060791 |
| 4 | 1,004109 | 25 | 1,027007 | 56 | 1,063152 |
| 5 | 1,005150 | 26 | 1,028142 | 58 | 1,065511 |
| 6 | 1,006198 | 27 | 1,029281 | 60 | 1,067868 |
| 7 | 1,007250 | 28 | 1,030422 | 62 | 1,070222 |
| 8 | 1,008309 | 29 | 1,031566 | 64 | 1,072572 |
| 9 | 1,009372 | 30 | 1,032713 | 66 | 1,074917 |

Die Vergleichung beider Tabellen führt zu dem Resultate, dafs die Gröfse der Ausdehnung des absoluten Alkohols am gröfsten ist und um so mehr abnimmt, je mehr er mit Wasser vermischt wird. Für 50° C. z. B. ist das Volumen des absoluten Alkohols = 1,056071, des nicht ganz reinen = 1,054394 und des Wassers = 1,011570.

### δ) Ausdehnung sonstiger Flüssigkeiten.

489) Bei den sonstigen Flüssigkeiten ist es minder wichtig, das Gesetz ihrer Ausdehnung zu kennen, und es wird daher genügen, hierüber die Resultate der Untersuchungen nur kurz mitzutheilen, welche auf jeden Fall hinreichen, um die den verschiedenen Temperaturen zugehörenden Volumina mit der nöthigen Genauigkeit zu bestimmen. Nach meinen erwähnten Versuchen[1] ist der analytische Ausdruck für die Aus-

1 Ueber die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten. In Mém. prés. à l'Acad. Imp. de Petersb.

dehnung des *Schwefeläthers* von 0,733 specifischem Gewicht bei 12°,5 C.

$$V = 1 + 0{,}00150268\,t + 0{,}00000255214\,t^2 - 0{,}00000015783\,t^3 + 0{,}000000004166\,t^4,$$

wonach die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit = — 36° ist[1]. Der blofse Anblick dieser Formel zeigt, dafs der Schwefeläther sich stärker ausdehnt, als selbst absoluter Alkohol, noch mehr aber als nicht ganz reiner. Die Ausdehnung des *Steinöls* (*petroleum rectificatum*) ist geringer, als die des Weingeistes, zugleich auch sehr regelmäfsig fortschreitend, und da diese Flüssigkeit so schwer gefriert, aufserdem aber weit leichter rein zu erhalten ist, so eignet sie sich vorzugsweise zu Thermometern für bedeutende Kältegrade. Meine Versuche geben die Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}000988558\,t + 0{,}00000212046\,t^2 - 0{,}0000000267639\,t^3 + 0{,}0000000001950677\,t^4,$$

und die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit = — 71° C. Auch das *liquide Ammoniak* vom specifischen Gewicht = 0,9465 bei 12°,5 C. wurde von mir untersucht, allein es ist schwer, das Gesetz seiner Ausdehnung mit gehöriger Schärfe zu finden, da die Quantität des durch das Wasser gebundenen Gases variirt und ein Theil desselben ohnehin bei steigender Wärme entweicht, weswegen die Messungen nicht weiter, als bis 45° C. fortgesetzt werden konnten. Inzwischen kann folgende Formel als hinlänglich genau gelten, wonach

$$V = 1 + 0{,}000285586\,t + 0{,}0000026002\,t^2 + 0{,}0000000641634\,t^3 - 0{,}000000001046984\,t^4$$

ist und die Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat. Die von uns untersuchte *Salzsäure* zeigte bei 12°,5 C. ein specifisches Gewicht = 1,1978, und die für ihre Ausdehnung gefundene Formel ist:

$$V = 1 + 0{,}000566237\,t - 0{,}000000829489\,t^2 + 0{,}0000000370847\,t^3 - 0{,}000000000472156\,t^4.$$

---

1 Das hier angegebene Resultat stimmt mit dem sehr tief liegenden Gefrierpuncte dieser Flüssigkeit §. 513 nicht überein. Dieses ist eine Folge davon, dafs die Formel bis zur vierten Potenz ausgedehnt ist, was namentlich die Bestimmung der Temperatur, die der gröfsten Dichtigkeit zugehört, unrichtig machen kann, wenn auch übrigens die berechneten Werthe den beobachteten sehr nahe kommen.

Auch diese Flüssigkeit hat, wie die vorige, keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit. Die Versuche mit *Salpetersäure* vom specifischen Gewicht = 1,4405 bei 12°,5 C. gaben mindestens sehr annähernd folgende Formel:

$$V = 1 + 0{,}0010661285\,t - 0{,}000001646108\,t^2 + 0{,}0000000044891 36\,t^3 - 0{,}0000000000198241\,t^4,$$

aus welcher sich ergiebt, dafs diese Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat. Parry[1] fand beiläufig bei seinen Versuchen über das Gefrieren der tropfbaren Flüssigkeiten, die er auf der Insel Melville anstellte, dafs concentrirte Salpetersäure sich ungefähr ebenso stark, als Quecksilber ausdehnt, was jedoch, wenn es nicht die Regelmäfsigkeit, sondern die Gröfse der Ausdehnung bezeichnen soll, mit meinen Versuchen nicht übereinstimmt.

Auf die Versuche mit *concentrirter Schwefelsäure* vom specifischen Gewichte 1,836 bei 12°,5 C. wurde bei weitem die gröfste Sorgfalt verwandt, weil ich an ihr das Gesetz der Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten in sehr hohen Temperaturen kennen zu lernen wünschte. Die Ausdehnung derselben zeigte sich sehr regelmäfsig, denn die Grade des Quecksilberthermometers und die des gebrauchten Mefsröhrchens behielten stets fast genau das nämliche Verhältnifs bei; dennoch aber zeigten die berechneten Werthe, mit den beobachteten verglichen, sehr grofse Unterschiede, und der Gefrierpunct dieser Säure müfste nach der Formel unter — 103° C. liegen, was gegen die Erfahrung streitet. Dieses Resultat ging hervor, als 37 Beobachtungen von 5° bis 230° des auf das Luftthermometer reducirten Quecksilberthermometers in Rechnung genommen wurden, welche folgende Gleichung gaben:

$$V = 1 + 0{,}00055161558\,t + 0{,}00000083851987\,t^2 - 0{,}000000008171231\,t^3 + 0{,}000000000002521671\,t^4,$$

wodurch die Volumina mindestens sehr annähernd gefunden werden. Wegen der offenbar unrichtigen Temperatur des Punctes der gröfsten Dichtigkeit, wie sie durch diese Formel gegeben wird, schien es zweckmäfsig, nur die 20 Beobachtungen zwischen 5° und 100° C. in Rechnung zu nehmen, wodurch folgende Gleichung erhalten wurde:

---

1 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 260.

$$V = 1 + 0{,}0005279835\,t + 0{,}00000287180238\,t^2 - 0{,}0000000512240355\,t^3 + 0{,}00000000028324437\,t^4.$$

Nach dieser liegt der Punct der gröfsten Dichtigkeit bei — 39°,2 C., was mit der Erfahrung THOMSON's, welcher den Gefrierpunct dieser Säure von 1,845 specifischem Gewichte bei — 38° C. fand, nahe genug übereinstimmt, allein die nach dieser Formel berechneten Werthe geben mit den durch Beobachtung gefundenen in den höheren Temperaturen so grofse Differenzen, dafs man die Volumina und Dichtigkeiten dieser Flüssigkeiten nur durch die erste Formel mit genügender Sicherheit erhalten kann. Da aber die Messungen von vorzüglicher Genauigkeit sind, so dürfte es am angemessensten seyn, diese selbst hier aufzunehmen, weil sich aus ihnen vielleicht durch angemessene Berechnung das Gesetz der Ausdehnung dieser Flüssigkeit von so hoch liegendem Siedepuncte finden und hiervon auch auf andere ähnliche schliefsen läfst.

| t | Volumen | t | Volumen |
|---|---|---|---|
| — 30 | 0,98186246 | 80 | 1,04600880 |
| — 25 | 0,98516516 | 85 | 1,04902662 |
| — 20 | 0,98848626 | 90 | 1,05299768 |
| — 15 | 0,99135488 | 95 | 1,05493247 |
| — 10 | 0,99411959 | 100 | 1,05784948 |
| — 5 | 0,99707687 | 105 | 1,06088253 |
| 0 | 1,00000000 | 110 | 1,06382362 |
| + 5 | 1,00281920 | 115 | 1,06665415 |
| 10 | 1,00567401 | 120 | 1,06918854 |
| 15 | 1,00842485 | 125 | 1,07215480 |
| 20 | 1,01128109 | 130 | 1,07510567 |
| 25 | 1,01408098 | 135 | 1,07825436 |
| 30 | 1,01726337 | 140 | 1,08055395 |
| 35 | 1,02007594 | 150 | 1,08727138 |
| 40 | 1,02319476 | 160 | 1,09397396 |
| 45 | 1,02611664 | 170 | 1,10018821 |
| 50 | 1,02902129 | 180 | 1,10655921 |
| 55 | 1,03181878 | 190 | 1,11288223 |
| 60 | 1,03465295 | 200 | 1,11928862 |
| 65 | 1,03743377 | 210 | 1,12591285 |
| 70 | 1,04019751 | 220 | 1,13224644 |
| 75 | 1,04312375 | 230 | 1,13885767 |

490) An die bereits erwähnten Untersuchungen über die Gesetze der Ausdehnung der Oele[1] lassen sich die Resultate eigener Versuche anknüpfen. Hiezu wurde *Mandelöl* genommen, wie man dasselbe aus guten Officinen käuflich erhält. Aus 24 Messungen zwischen 5° und 120° C. ergab sich folgende Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}0007445475\,t + 0{,}0000003134379\,t^2 + 0{,}000000002750899\,t^3 - 0{,}0000000000015975079\,t^4,$$

aus welcher hervorgeht, dafs diese Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat, sondern sich selbst auch beim Gestehn fortwährend zusammenzieht, wie schon DE LUC für Olivenöl, übereinstimmend mit der Erfahrung, gefunden hat. Auch ERMAN[2] wurde bei seinen (§. 474) erwähnten Experimenten veranlafst, die Ausdehnung des Olivenöls zu untersuchen, um darin die Wägungen der leichtflüssigen Metallmischung vorzunehmen. Die Gleichung, welche er ohne Correction für die Ausdehnung des Glases erhielt, ist folgende:

$$V = 1 + 0{,}00089015776\,t + 0{,}0000004450113\,t^2 + 0{,}0000000000931780\,t^3.$$

Diese vergleicht er mit derjenigen, welche PAUCKER[3] aus den Messungen von DE LUC gefunden hat, nämlich

$$V = 1 + 0{,}00089178169\,t + 0{,}0000004864638\,t^2 - 0{,}00000000008499\,t^3,$$

beide für Grade der achtzigtheiligen Scale. Die nahe Uebereinstimmung ist zwar nicht zu verkennen, allein es ist auffallend, dafs jene erste Gleichung lauter positive Coefficienten hat, was bei keiner der sonstigen, bisher aufgefundenen statt findet[4]; auch scheint es mir in der Natur der Sache zu liegen, dafs eins der Glieder verneinend seyn müsse, weil sonst das Volumen der Flüssigkeiten in höheren Temperaturen allzusehr wächst.

---

1 S. Art. *Ausdehnung.* Bd. I. S. 624.

2 Poggendorff's Ann. IX. 559 und die oben angez. Dissert.

3 Ueber die Anwendung der Methode der kleinsten Quadratsumme auf physikal. Beobachtungen u. s. w. Mitau 1819.

4 Die Ausdehnung der gesättigten Salzsoole wird zwar nach Bd. I. S. 625 gleichfalls durch eine Gleichung ausgedrückt, welche 3 bejahende Coefficienten hat, allein ich glaube nicht, dafs jene ältere Arbeit von DE LUC nach dem Vielen, was neuerdings in dieser Beziehung geschehn ist, grofses Vertrauen verdient.

Durch die Correction für die Ausdehnung des Glases nach den Messungen von DULONG und PETIT wird dann die Gleichung für die Ausdehnung des Olivenöls für t Grade nach R.

$$V = 1 + 0{,}00092015776\,t + 0{,}0000005004504\,t^2 + 0{,}000000000970708\,t^3$$

und für die Centesimalscale

$$V = 1 + 0{,}0007361262\,t + 0{,}0000003202882\,t^2 + 0{,}0000000004970025\,t^3.$$

Vergleicht man diesen Ausdruck mit dem durch mich für Mandelöl gefundenen, so kommen beide darin überein, dafs es für diese Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit giebt, was mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt, wonach alle Fette, so wie auch Wachs, sich beim Erkalten und selbst nach dem Gestehen zusammenziehn, ohne dafs hierbei ein Stillstandspunct ihrer Zusammenziehung oder gar eine zwischentretende Ausdehnung statt zu finden scheint. Uebrigens aber ist nach dieser Formel die Ausdehnung des Oels, welches durch ERMAN zu seinen Versuchen genommen wurde, ungleich gröfser, als die des Mandelöls nach meinen Messungen, und sogar gröfser, als die des Schwefelkohlenstoffs, welcher sich bekanntlich sehr stark ausdehnt, des Steinöls und selbst des absoluten Alkohols, kleiner jedoch, als die des Schwefeläthers. Auch bei meinen Versuchen, wenn die Erwärmung des Mefsröhrchens in Olivenöl geschah, habe ich die starke Ausdehnung dieser Flüssigkeit beiläufig wahrgenommen, ob aber ein so bedeutender Unterschied zwischen Mandelöl und gewöhnlichem Oele wirklich statt findet, als aus meiner und ERMAN's Formel hervorgeht, mufs ich dahin gestellt seyn lassen.

Auch die Ausdehnung des *Schwefelkohlenstoffs* ist von mir auf die angezeigte Weise untersucht worden. Aus 32 Messungen, worunter 4 doppelt waren, und aus denen daher wegen äufserst geringer Abweichung von einander das arithmetische Mittel genommen wurde, ergab sich folgende Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}001125690639\,t + 0{,}000001715049\,t^2 - 0{,}00000000121166\,t^3,$$

nach welcher diese Flüssigkeit gleichfalls keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat. Da sich dieselbe aber wegen ihrer regelmäfsigen Ausdehnung, und weil sie nicht so, wie der Weingeist, leicht Feuchtigkeit aus der Luft aufnimmt, mithin

leichter als letzterer im Zustande der Reinheit aufbewahrt werden kann, vorzugsweise zu Thermometern eignet, so stelle ich die mit den Versuchen sehr genau übereinstimmenden Volumina derselben, wie sie die Berechnung giebt, in folgender Tabelle zusammen.

| t | Volumen | t | Volumen | t | Volumen |
|---|---|---|---|---|---|
| — 50 | 0,947852 | — 10 | 0,988913 | 32 | 1,037818 |
| — 48 | 0,949783 | — 8 | 0,991104 | 34 | 1,040304 |
| — 46 | 0,951729 | — 6 | 0,993307 | 36 | 1,042804 |
| — 44 | 0,953687 | — 4 | 0,995525 | 38 | 1,045319 |
| — 42 | 0,955656 | — 2 | 0,997755 | 40 | 1,047849 |
| — 40 | 0,957639 | + 2 | 1,002258 | 42 | 1,050394 |
| — 38 | 0,959634 | 4 | 1,004530 | 44 | 1,052954 |
| — 36 | 0,961641 | 6 | 1,006816 | 46 | 1,055529 |
| — 34 | 0,963661 | 8 | 1,009116 | 48 | 1,058119 |
| — 32 | 0,965694 | 10 | 1,011430 | 50 | 1,060724 |
| — 30 | 0,967740 | 12 | 1,013757 | 52 | 1,063344 |
| — 28 | 0,969799 | 14 | 1,016099 | 54 | 1,065979 |
| — 26 | 0,971870 | 16 | 1,018455 | 56 | 1,068630 |
| — 24 | 0,973954 | 18 | 1,020825 | 58 | 1,071296 |
| — 22 | 0,976052 | 20 | 1,023209 | 60 | 1,073977 |
| — 20 | 0,978162 | 22 | 1,025608 | 62 | 1,076674 |
| — 18 | 0,980286 | 24 | 1,028021 | 64 | 1,079387 |
| — 16 | 0,982423 | 26 | 1,030449 | 66 | 1,082115 |
| — 14 | 0,984573 | 28 | 1,032890 | 68 | 1,084858 |
| — 12 | 0,986736 | 30 | 1,035347 | 70 | 1,087618 |

491) Neuerdings hat Despretz[1] die bisherigen Erfahrungen über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten durch eine interessante Thatsache vermehrt. Es ist allgemein angenommen und hiermit stimmen alle hier mitgetheilte Formeln überein[2], daſs die Ausdehnung der tropfbar-flüssigen und festen

1 L'Institut. 6me Ann. N. 246. Compt. rend. T. VII. p. 589. Poggendorff's Ann. XLVI. 134.

2 Nach Frankenheim in Berl. Jahrbücher für wissenschaftl. Kritik soll die allgemeine Formel für die Ausdehnung der Flüssigkeiten folgende seyn: $\text{Log.} \frac{y}{\beta} = A(p - \alpha)^2$, worin $\beta$ die Ausdehnung im Minimum, $\alpha$ die zugehörige Temperatur, y die Ausdehnung bei der Temperatur p, A eine Constante aus Versuchen bezeichnen. Ferner ist $p = 722 \text{ Log. } (1 - hx)$, worin x die Temperatur in Centesimalgraden und $h = 0,00375$ sind. Die Formel soll entstanden seyn aus $\text{Log. } \frac{y}{\beta} = a^2 \left(r^{\alpha - p} - r^{p - \alpha}\right)^2$, worin a und r vom logarith-

Körper durch eine Curve ausgedrückt wird, welche ihre Convexität gegen die Axe der Temperaturen wendet (eine gegen die Axe der Abscissen convexe Parabel höherer Ordnung), statt dafs eine gerade Linie das Gesetz der Ausdehnung gasförmiger Körper darstellt. Das abnorme Verhalten des Schwefels gegen die Wirkungen der Wärme (§. 509) veranlafste ihn aber, die Ausdehnung desselben gerade in denjenigen Temperaturen zu prüfen, in denen dieses ungewöhnliche Verhalten eintritt. Er bediente sich hierzu solcher Apparate, womit er die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten untersucht hatte (§. 485), und fand auf diese Weise, dafs der Schwefel im flüssigen Zustande sich abnehmend ausdehnt. Die Coefficienten seiner wahren Ausdehnung sind:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| von | 110° | bis | 130° | C. | .... | 0,000622 |
| — | 110 | — | 150 | — | .... | 0,000582 |
| — | 110 | — | 200 | — | .... | 0,000454 |
| — | 110 | — | 250 | — | .... | 0,000428. |

Es ist dieses allerdings sehr auffallend; wenn aber den Formeln für die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten volles Vertrauen gebührt, so findet eben dieses Verhalten auch bei andern statt. Wenn man nämlich in die Differentialgleichung zur Auffindung des kleinsten Volumens oder der gröfsten Dichtigkeit:

$$\frac{\partial.(V-1)}{\partial t} = a + b.2t + c.3t + .. = 0$$

statt der negativen Werthe für t vielmehr positive setzt, so geben die Wurzeln das Maximum des Volumens, also den Punct der geringsten Dichtigkeit, von wo an die Ausdehnungscurve sich der Axe der Abscissen wieder zu nähern beginnt. Beispielsweise führe ich nur das Mandelöl an, welches nach meinen Versuchen[1] diesen Punct bei + 296 des Luftthermometers hat. Dieses Resultat ist weniger auffallend; denn da das Oel nicht eigentlich siedet, bei etwa 300° C. aber eine

mischen Systeme, von der Thermometerscale und von der Natur der Flüssigkeit abhängig seyn sollen. Ich finde indefs nicht, dafs irgendwo Anwendung von diesem analytischen Ausdrucke gemacht worden ist, auch läfst sich ohne nähere Bestimmung und Anwendung auf Gröfsen, die durch Erfahrung gefunden worden sind, nicht wohl ein Urtheil darüber fällen.

1 Ueber die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten.

Zersetzung erleidet, so stimmt dieses insofern mit der Theorie überein, als man sagen kann, das Gesetz der regelmäſsigen Ausdehnung dieser Flüssigkeit hört mit dem Beginnen seiner Zersetzung auf. Verfährt man auf gleiche Weise mit der für die Ausdehnung des liquiden Ammoniaks gefundenen Formel, so findet man das Maximum seines Volumens einer Temperatur $t = 74^{\circ},75$ zugehörend, und von hier an würde die Curve seiner Ausdehnung sich der Abscissenaxe wieder nähern. Es lieſsen sich hieraus allerdings interessante Folgerungen ableiten, allein, wie bereits (§. 483) bemerkt wurde, es scheint der analytische Ausdruck, welcher das Gesetz der Ausdehnung darstellt, nicht in der Art absolut genau zu seyn, daſs man ihn willkürlich auf alle höhere und tiefere Temperaturen ausdehnen könnte.

### c) Ausdehnung der gasförmigen Flüssigkeiten.

492) Nicht leicht galt im Gebiete der Physik irgend eine Bestimmung für so genau und sicher, als die der Ausdehnung der Gasarten und Dämpfe, wie diese durch Gay-Lussac gefunden worden ist[1]. Seit der Bekanntwerdung des durch diesen Gelehrten erhaltenen Coefficienten $= 0{,}00375$ für $1^{\circ}$ C. hat Niemand Zweifel dagegen erhoben, auſser die von mir selbst geäuſserten, aus meinen eigenen Versuchen über die Dichtigkeit der Dämpfe beiläufig entnommenen, wonach dieser Coefficient für feuchte Luft gilt, für trockne aber kleiner seyn muſs[2]. Können gleich meine, nicht absichtlich diesem Probleme gewidmeten Versuche auf eine zur Entscheidung dieses streitigen Punctes erforderliche Genauigkeit keine Ansprüche machen, und mag es immerhin gegründet seyn, daſs die Ausdehnung aller gasförmigen Körper dieselbe ist, so folgt doch daraus keineswegs, daſs ein Gemenge aus Luft und Dampf gleichfalls genau eine ihrer Gröſse nach ganz gleiche Ausdehnung zeigen muſs, als welche jeder einzelnen derselben eigen ist; dieser Satz beruht allein auf Gay-Lussac's Versuchen, die allerdings noch einer Controle bedurften, wie sich sogleich zeigen wird.

---

1 Vergl. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 625 ff.

2 Physikalische Abhandlungen. Gieſs. 1816. S. 146.

Bei der Wichtigkeit des bisher üblichen Coefficienten für die Ausdehnung der Gase = 0,00375, welcher in zahllosen Fällen in Anwendung kommt, war es ein sehr verdienstliches Unternehmen, dafs Rudberg[1] denselben einer Prüfung unterwarf, weil einige von ihm angestellte Versuche Abweichungen zeigten, die auf einen Fehler in dieser Bestimmung deuteten. Für seine Messungen wählte er die Methode, die vorher ausgetrocknete atmosphärische Luft zu erhitzen, dann zu erkälten und die dadurch bewirkte Zusammenziehung zu messen. Dieses geschah mittelst Glaskugeln ab, welche gegen 150 Gramm Fig. 73.
Quecksilber fafsten und mit einem dünnen, feinen, in eine sehr enge Spitze ausgezogenen Röhrchen versehn waren. Dieses Röhrchen ging luftdicht durch den Kork D in die mit Chlorcalcium gefüllte Röhre DE, und um die Luft gehörig auszutrocknen, wurde die Kugel 50- bis 60mal mittelst einer Weingeistlampe erhitzt und demnächst erkältet oder das Ende E der Röhre wurde mittelst eines bleiernen Verbindungsstückes durch die Luftpumpe wiederholt exantlirt. War die Luft gehörig getrocknet und die Röhre DE mit einem Korke bei E verschlossen, worin ein kleines Loch zum freien Durchgange der Luft diente, so wurde der Apparat mittelst des aus zwei Theilen bestehenden Korkes mn in das Heizgefäfs AB gebracht. Nachdem das in diesem enthaltene Wasser etwa drei Viertelstunden anhaltend gesiedet hatte, ward die Röhre DE weggenommen, das Sieden noch etwa 10 Minuten fortgesetzt und die feine Spitze zugeblasen. Alsdann folgte die Wägung des Mefsröhrchens auf einer Waage, die noch 0,1 Milligr. mit Sicherheit angab. Zur demnächst folgenden Messung diente ein zweiter Apparat. Das Röhrchen ward durch die Oeffnung b in der Fig. 74.
metallenen Schale abc gesteckt, die auf dem beweglichen Arme DC ruhte, vermittelst dessen die Spitze tief in das Quecksilber des Gefäfses EFHG hinabkam. Die Schale abc diente dazu, die Kugel allseitig mit Schnee zu umgeben, indem das geschmolzene Wasser durch die Röhre ablief. Nachdem durch Hinzubringen von frischem Schnee während zwei Stunden und darüber die Kugel sicher bis auf 0° herabgebracht worden war, damit das Quecksilber nach vorher abgebrochener Spitze vollständig in den Apparat eindringen konnte, wurde die Spitze durch eine

1 Poggendorff's Ann. XLI. 271.

weiche Masse aus Wachs und Terpentin verschlossen, der Barometerstand notirt, der Schnee weggenommen, und zur Bestimmung des Höhenunterschiedes der Quecksilber-Niveaus im Gefäſse und in der Kugel geschritten. Durch die Schraube N P lieſs sich die Hülse tm und der an ihrem Arme befestige Ring gh so herabbringen, daſs letzterer über die Kugel herabgesenkt das Niveau des Quecksilbers in dieser genau angab, die Spitze der Schraube K aber das Quecksilber in der Wanne berührte; nach Wegnahme des Meſsapparates gaben zwei parallele Lineale den Abstand zwischen der Spitze und der unteren Fläche des Ringes, und somit den Unterschied der Dichtigkeit der äuſseren und der in der Kugel befindlichen Luft an. Alsdann wurde das wenige Wachs von der Spitze weggenommen, die Kugel mit dem Quecksilber gewogen und das Ende des Röhrchens etwas gebogen, um es in Quecksilber zu tauchen und die Kugel gänzlich damit zu füllen. War dieses endlich durch Auskochen von aller Luft befreit und der Apparat durch Einsenken in schmelzendem Schnee völlig mit Quecksilber bei 0° Temperatur gefüllt, so nahm man die Kugel weg und fing das auslaufende Quecksilber auf, während die Kugel abermals im Erwärmungsapparate die Siedehitze annahm, und auf diese Weise lieſs sich aus dem Gewichte des ausgelaufenen und des in der Kugel zurückgebliebenen Quecksilbers sowohl der Inhalt der Kugel als auch die Ausdehnung der Luft und die bereits (§. 473) angegebene des Glases finden.

493) Nimmt man die Sache allgemein, also auch so, daſs die Kugel nicht bis 0° durch Eis erkältet, sondern in einem ähnlich eingerichteten Gefäſse im Wasser bis zu einer bestimmten niedrigen Temperatur abgekühlt wird, wie durch Rudberg in drei Versuchen wirklich geschah, so führen folgende Betrachtungen zur Auffindung der gesuchten Ausdehnung des Gases. Es sey der Inhalt der Kugel = V; die nach dem Barometerstande corrigirte Temperatur des siedendheiſsen Wasserdampfes = T; der Barometerstand = H′, die wahre Ausdehnung der Luft für 1° C. = $\alpha$; die des Glases = $\delta$; das Gewicht der Volumen-Einheit der trocknen Luft bei 0° Temperatur und 0,76 Meter Barometerstand = a, so ist das Gewicht der in der Kugel beim Zublasen der Spitze enthaltenen Luft

$$q = a.V.\frac{H'}{0,76}.\frac{1+\delta T}{1+\alpha T}.$$

Ist die Temperatur der Luft in der Kugel nach der Abkühlung, wenn die Spitze abgebrochen ist, $= t$, der Barometerstand beim Verschliefsen der Spitze mit Wachs $= H''$, der Höhenunterschied beider Quecksilber-Niveaus $= h$, das Volumen der abgekühlten Luft $= v$, so ist bei unveränderter Masse der Luft:

$$q = a v \frac{H'' - h}{0{,}76} \cdot \frac{1 + \delta t}{1 + \alpha t}$$

und beide Werthe von q einander gleich gesetzt:

$$\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t} = \frac{V}{v} \cdot \frac{H'}{H'' - h} \cdot \frac{1 + \delta T}{1 + \delta t},$$

mithin wenn man das, was rechts vom Gleichheitszeichen steht, durch n bezeichnet, die wahre Ausdehnung der Luft für 1° C.

$$\alpha = \frac{n - 1}{T - n t}.$$

Wird die Kugel durch Schnee abgekühlt, so ist einfacher

$$n = \frac{V}{v} \cdot \frac{H'}{H'' - h} \cdot (1 + \delta T)$$

und folglich

$$\alpha = \frac{n - 1}{T}.$$

In dieser Formel mufs V und v bestimmt werden, da die übrigen Gröfsen bekannt sind. Im zuletzt angenommenen Falle, wenn $t = 0$ ist, sey das Gewicht des die Kugel bei 0° C. füllenden Quecksilbers $= P$ und das Gewicht des beim Erkalten der Kugel bis 0° in sie gedrungenen Quecksilbers $= p$, so ist

$$\frac{V}{v} = \frac{P}{P - p},$$

also $$n = \frac{P}{P - p} \cdot \frac{H'}{H'' - h} \cdot (1 + \delta T).$$

Hierbei wird $\delta$, der Coefficient der Ausdehnung des Glases, als bekannt vorausgesetzt oder vorher ermittelt, wie durch Rudberg (§. 473) geschah. Ist t nicht $= 0$, so müssen die Werthe von P und p auf diese Temperatur reducirt werden; doch giebt dieses minder sichere Resultate, weil es kaum möglich ist, die Temperatur des abkühlenden Wassers eine hinlänglich lange Zeit gleichbleibend zu erhalten. Die drei ersten Versuche, welche auf diese letztere Weise angestellt wurden, gaben im Mittel 0,3623 für die Ausdehnung der Luft zwischen 0° und 100° C., neun andere aber mit Anwendung

des ersteren Verfahrens gaben im Mittel 0,3646, wobei die Extreme 0,3636 und 0,3654 betrugen. In diesen Versuchen waren die Barometerstände, also auch die Temperaturen der Siedehitze und die Höhen der Quecksilbersäulen in den Röhrchen der Kugeln sehr ungleich, und da dennoch die einzelnen Werthe so wenig von einander abweichen, so entscheidet dieses bestimmt für die Genauigkeit der Resultate, die auch, wie ausführlich gezeigt wird, nicht mit bedeutenden Fehlern behaftet seyn können. Zwei absichtlich mit feuchter Luft angestellte Versuche, wobei jedoch kein tropfbares Wasser sichtbar war, gaben den Coefficienten der Ausdehnung = 0,3840 und 0,3902, wodurch höchst wahrscheinlich wird, daſs die von anderen Physikern und auch von Gay-Lussac und Dalton gefundenen fehlerhaften Resultate von der Anwesenheit des Wasserdampfes herrührten, wie ich selbst gleich bei ihrer Bekanntwerdung äuſserte.

Rudberg[1] hat später noch einen eigenen Apparat construirt, mittelst dessen die Ausdehnung der Luft durch die Zunahme ihrer Elasticität gemessen wird; mir scheint jedoch diese Methode minder sicher und mit gröſseren Schwierigkeiten verbunden zu seyn, als die beschriebene, denn sie erfordert eine Correction wegen der Capillarität eines dabei angebrachten engen Verbindungs-Röhrchens, die Röhre, welche die Elasticität der eingeschlossenen Luft durch eine aufsteigende Quecksilbersäule miſst, ist oben offen und gestattet daher der feuchten Luft den Zutritt zur Oberfläche dieser Quecksilbersäule, wodurch die Capillarität dieser Röhre Veränderungen unterliegt, und endlich läſst sich der, die zu messende Luft einschlieſsende, Cylinder minder leicht bis 0° C. erkälten und bis zur Siedehitze des Wassers erwärmen. Bei der Gewissenhaftigkeit und experimentellen Fertigkeit des der Wissenschaft leider zu früh entrissenen schwedischen Physikers läſst sich aber voraussetzen, daſs er auch bei der Anwendung dieses zweiten Apparates durch Vermeidung möglicher Fehler richtige Resultate erlangt habe, und da er vermittelst desselben abermals durch zwölf Versuche den Coefficienten der Ausdehnung trockner Luft = 0,36457 im Mittel erhielt, wobei die Extreme der einzelnen Resultate 0,3640 und 0,3664 betragen, so muſs in Zukunft der *Coefficient der*

---

1 Poggendorff's Ann. XLIV. 119.

*Ausdehnung trockner Luft* = 0,3646 oder kürzer = 0,365 für den Temperaturunterschied zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers angenommen werden, statt dafs hierfür bisher die Bestimmung Gay-Lussac's = 0,375 als richtig galt. Die so lange Zeit gangbaren Bestimmungen 0,00375 und $\frac{1}{266,67}$ verwandeln sich diesemnach für die Zukunft in 0,003646 oder 0,00365 und $\frac{1}{273,97}$ oder $\frac{1}{274,27\ldots}$. Am angemessensten dürfte es seyn, 0,00365 und $\frac{1}{274}$ zu wählen.

494) Zu diesem höchst wichtigen Nachtrage der Untersuchungen über die Ausdehnung gasförmiger Körper lassen sich noch einige minder umfangreiche hinzufügen. Dahin gehört hauptsächlich eine Messung Parry's [1], welcher die Ausdehnung der Luft zwischen 12°,78 C. und — 37° C. für 1° C. = 0,003629 fand. Da hierbei die Correction für die Ausdehnung des Glases nicht erwähnt ist, so läfst sich diese in genähertem Werthe hinzufügen, und es beträgt dann diese Gröfse 0,003632, also wird für einen Temperaturunterschied von 0° bis 100° C. der Coefficient der Ausdehnung trockner Luft = 0,3632, welche Bestimmung von der durch Rudberg gefundenen um einen Unterschied abweicht, welcher innerhalb der Fehlergrenze solcher Versuche liegt [2]. Auf jeden Fall dient auch dieses Resultat zur Bestätigung des durch Rudberg gefundenen Coefficienten und streitet gegen die Richtigkeit des früher durch Gay-Lussac erhaltenen.

Schliefslich möge hier noch bemerkt werden, dafs nach allen bisher bekannt gewordenen genauen Versuchen die Ausdehnungslinie der atmosphärischen Luft eine gerade ist, d. h. dafs der Coefficient der Volumensvermehrung für alle richtige Grade des Thermometers unverändert bleibt. Einen thatsächlichen Beweis hierfür liefert Parry's Messung bei sehr niedri-

---

1 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 246.

2 Wenn man berücksichtigt, dafs der Weingeist sich in niederen Graden weniger zusammenzieht, so bedürfen die mit einem Weingeistthermometer gemessenen Grade einer Correction, wodurch der erhaltene Coefficient etwas gröfser und also dem durch Rudberg gefundenen noch ähnlicher werden würde.

gen Thermometergraden. Inzwischen sucht MEIKLE[1] durch den Calcül zu beweisen, daſs für eine arithmetische Reihe der Thermometergrade die Ausdehnung der Luft eine geometrische bilde. Wir verweisen in dieser Beziehung auf die oben (§. 271) mitgetheilten Untersuchungen.

## 2) Schmelzen und Gefrieren.

495) Das Schmelzen oder die Schmelzung, das Flüssigwerden (*Fusio;* Fusion, Fonte; *Melting, Liquefaction*), steht dem Gefrieren, der Gefrierung (*Congelatio;* Congélation; *Freezing, Congelation*) entgegen, streng wissenschaftlich kann aber, wenn von den Wirkungen der Wärme geredet wird, nur vom Schmelzen die Rede seyn, denn dieses wird durch die Wärme bewirkt, statt daſs durch deren Entziehung das Gestehen oder Gefrieren eintritt. Dabei pflegt man, ohne eigentlich bestimmte Feststellung der Wortbedeutung, sich des Ausdrucks *Gestehen* oder *Festwerden* bei solchen Körpern zu bedienen, welche über dem Schmelzpuncte des Eises flüssig werden, den Ausdruck *Gefrieren* aber bei solchen zu gebrauchen, die bei oder unter diesem Puncte in den Zustand der Festigkeit übergehen. Dem Wesen nach findet hierbei kein Unterschied statt, denn allgemein verändert die Zunahme der Wärme den Aggregatzustand aller festen Körper so, daſs sie in den der tropfbaren Flüssigkeit übergehen, was man sich auch so vorstellen kann, als würden die starren Körper im Wärmestoff aufgelöst[2]. Die paſslichste Hypothese zur Vorstellung dieser Veränderung ist die, wonach die Anziehung der Körper-Molecüle durch die Repulsion der sie umgebenden Wärmesphären bis zu dem Grade überwunden wird, daſs jene ohne meſsbares Hinderniſs jede Lage gegen einander annehmen und sich frei um einander bewegen. Sofern aber diese Wirkung auf den allgemein thätigen Kräften beruht, deren stabiles Gleichgewicht den Aggre-

---

1 Philos. Mag. and Ann. T. XI. p. 243.

2 ROB. BOYLE leitete schon das Schmelzen von der Wärme ab, statt daſs GASSENDI und Andere eine Käitematerie annahmen, CARTESIUS aber dasselbe als eine durch das Eindringen seines zweiten gröberen Elementes erzeugte Bewegung betrachtete. S. Princip. phil. nat. P. IV. prop. 48 und Meteor. C. 1. §. 7. MUSSCHENBROEK hielt umgekehrt das Gefrieren für eine Folge des Eindringens einer feinen Materie. S. Introd. §. 1504.

gatzustand der Körper bedingt, müsste eigentlich jener Uebergang von der Starrheit zur Flüssigkeit und dann weiter zur Gasform allgemein bei allen Körpern statt finden, allein es giebt deren viele, namentlich unter den nach feineren und mannigfach modificirten Anziehungsgesetzen gebildeten organischen Substanzen, welche den einen dieser Zustände überspringen und durch den Einfluſs der Wärme unmittelbar aus der Starrheit zur Gasform durch Zersetztwerden übergehn. Darf ferner aus anderweitigen Erscheinungen geschlossen werden, daſs die Molecüle der Körper wesentlich, und auch in Beziehung auf jene ihnen inwohnenden Kräfte, verschieden sind, so müssen auch ungleiche Wärmemengen einen Uebergang derselben von der Starrheit zum Zustand der Flüssigkeit und Gasform zu erzeugen vermögen, ohne daſs wir jedoch wegen Mangels einer genaueren Kenntniſs der eigentlichen Beschaffenheit dieser Molecüle die leichtere oder schwerere Schmelzbarkeit der aus ihnen gebildeten Körper theoretisch zu bestimmen vermögen. Gehen wir aber weiter von den einfachen Körpern zu den zusammengesetzten über, so zeigen sich sofort so verwickelte Erscheinungen rücksichtlich ihres Ueberganges aus dem einen Zustande in den andern, daſs bei ihrer Betrachtung jede Hoffnung schwindet, die hierbei wirksamen Gesetze auf die eigenthümliche Beschaffenheit der Molecüle zurückzuführen. Ueberhaupt ist die Menge und Mannigfaltigkeit der Phänomene, die sich in dieser Beziehung der Beobachtung darbieten, so ausnehmend groſs, daſs es vor der Hand am angemessensten erscheinen muſs, die Thatsachen im Einzelnen genau zu erforschen, das Gemeinsame derselben zusammenzufassen und die Auffindung allgemein gültiger Gesetze der Zukunft zu überlassen. Zwei Dinge verdienen hierbei vorzugsweise beachtet zu werden; zuerst der groſse Unterschied des leichteren und schwereren Ueberganges aus der Starrheit zur Flüssigkeit, wonach man *leichtflüssige* und *strengflüssige* Körper unterscheidet, indem einige stets flüssig bleiben oder nur durch kaum erreichbare Entziehung der Wärme gefrieren, andere bis jetzt durch die stärkste Hitze nicht in Fluſs gebracht wurden, und zweitens das sehr ungleiche Verhalten, welches sich bei diesem Uebergange zeigt, indem einige in merklicher Stufenfolge erst weich und dann flüssig werden, andere plötzlich von dem einen Zustande in den andern übergehn, einige

hierbei eine Vermehrung, andere eine Verminderung ihres Volumens zeigen, anderweitiger Verschiedenheiten nicht zu gedenken. Im Allgemeinen ist übrigens noch zu berücksichtigen, wenn es sich um den Gefrierpunct und den *Schmelzpunct* handelt, das heifst, um die scharfe Bestimmung derjenigen Temperatur, bei welcher der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand erfolgt oder umgekehrt, dafs beide zwar der Natur der Sache nach zusammenfallen müfsten, der Erfahrung gemäfs aber meistens dieses nicht zu thun scheinen. Allerdings giebt es verschiedene Körper, welche durch Wärme weicher und zunehmend weicher werden, so dafs sie, dem Zustande der Starrheit nicht gemäfs, sich biegen, kneten und formen lassen, mithin aus dem festen in einen weichen, halbflüssigen und endlich eigentlich flüssigen Zustand übergehen, wie dieses namentlich bei den Fetten, dem Wachse, den Harzen und andern, aber auch beim Eisen und Platin der Fall ist, welche sich daher in diesem Zustande der Weichheit auch vereinigen, die Metalle sich schweifsen lassen; Zinn wird vor dem Schmelzen brüchig und locker, und so giebt es noch sonstige einzelne Modificationen. Handelt es sich aber um die Erfahrung, wonach der Gefrierpunct und der Schmelzpunct solcher Körper, wobei die genannten Erscheinungen fehlen, nicht genau zusammenfallen, ja nicht selten scheinbar um viele Grade von einander abstehn, so liegt die Ursache hiervon in dem Umstande, dafs bei dieser Formänderung allezeit Wärme latent oder frei wird, welche sich nur schwer trennt oder auch langsam und allmälig aufgenommen wird. Hierauf beruhet die Stillstandsperiode der Erkaltung oder Erwärmung, welche wohl ohne Ausnahme, wenn gleich mehr oder minder auffallend, beim Uebergange aus dem einen in den andern dieser Zustände eintritt (§. 497). Am auffallendsten zeigt sich dieses bei dem bekannten Verhalten des Wassers, welches sich bis tief unter seinen Gefrierpunct erkälten läfst, dann durch Bewegung sogleich zum Theil gefriert und bis 0° steigt. Despretz[1] bemerkt daher mit Recht, dafs man den Gefrierpunct eines Körpers eigentlich in diejenige Temperatur setzen müsse, bei welcher die bewegte Flüssigkeit zu gestehn beginnt und bei welcher sie dann beharret, bis sie gänzlich fest geworden ist. Die dann gefundene

---

1 Poggendorff's Ann. XLI. 493.

Temperatur ist zugleich auch die des Schmelzens. Salzlösungen und überhaupt solche Verbindungen, bei denen eine Trennung der schwerer gestehenden Antheile von den leichter gefrierenden statt findet, wie dieses namentlich bei Auflösungen im Wasser, aber auch bei Metalllegirungen der Fall ist, machen hiervon eine Ausnahme, was DESPRETZ nicht gehörig gewürdigt zu haben scheint; denn wenn bei Salzsolutionen die Ausscheidung eines gesättigten Antheils durch Bewegung gehindert wird, so kann das Gefrieren weniger leicht erfolgen; auch erzählt SCORESBY, dafs die Oberfläche des Meeres vor der Bildung einer dünnen Eisdecke, die durch nachfolgende Bewegung sofort in kleine Stückchen zerbrochen wird, momentan als ganz ruhig erscheine. Sehr richtig aber bemerkt DESPRETZ[1], dafs eine gelinde Bewegung die Theilchen leichter in diejenige Lage bringt, worin sie die stärkste Attraction ausüben, und daher das Gefrieren sowohl des reinen, als auch des salzhaltigen Wassers mehr befördert, als eine heftige, die es sogar zu hindern vermag. Sind die Flüssigkeiten in enge Röhren eingeschlossen, so geht ihr Gefrierpunct weit tiefer herab, als wenn sie sich in weiteren Gefäfsen befinden, nach begonnenem Erstarren tritt aber sofort der eigentliche Gefrierpunct ein, das heifst, die Flüssigkeit nimmt die diesem zugehörige Temperatur an.

496) Das *Eis* zeigt bei seinem Uebergange in den tropfbar-flüssigen Zustand und umgekehrt bei der Verwandlung des Wassers in diesen festen Körper so ziemlich alle die merkwürdigen Erscheinungen, die in Beziehung auf das Schmelzen und Gefrieren Beachtung verdienen, und hat daher stets die Aufmerksamkeit der Physiker vorzüglich in Anspruch genommen. Dahin gehört vorzugsweise die Ausdehnung des Wassers vor seinem Festwerden, die Entbindung der latenten Wärme bei dieser Verwandlung in einen festen Körper, die Ausdehnung des festen Eises bei seinem Entstehn und sein krystallinisches Gefüge. Weil aber dem Eise bereits ein eigener Artikel gewidmet worden ist[2], so können hier nur einige seitdem hinzugekommene neue Thatsachen aufgenommen werden. Diese beziehn sich zuerst auf den Punct der gröfsten Dichtigkeit des erkaltenden Wassers,

1 L'Institut. 5me Ann. N. 218. p. 238.

2 S. *Eis*. Bd. III. S. 99.

welcher nach den genauesten Untersuchungen (§. 485) bei 3°,9 C. liegt. Inwiefern das Wasser diese Eigenschaft durch Zusatz von Salzen verliert, hatte man bisher hauptsächlich nur bei Seewasser untersucht. Nach der aus meinen Messungen[1] der Ausdehnung dieser Flüssigkeit erhaltenen Formel tritt deren gröfste Dichtigkeit bei — 5°,25 C. ein, was vollkommen mit einer Angabe von Parrot[2] übereinstimmt, wonach die Krystallisation des Seewassers genau bei dieser Temperatur beginnt. Inzwischen ist bereits sehr ausführlich über den Procefs des Gefrierens des *Seewassers* gehandelt worden[3] und es bedarf daher hier nur einiger weniger Bemerkungen.

Insbesondere verdienen die von Despretz[4] angestellten Untersuchungen über das Gefrieren und die Puncte der gröfsten Dichtigkeit der Salzlösungen hier erwähnt zu werden. Nach einem Mittel aus 12 Versuchen gefror Seewasser von 1,0273 specif. Gewicht bei — 2°,55 C. und das Thermometer stieg dabei auf — 1°,84, das Maximum der Dichtigkeit trat aber bei — 3°,67 C. ein und soll von Marcet[5] und Erman deswegen nicht gefunden worden seyn, weil sie dasselbe über dem Gefrierpuncte suchten. Diese Angabe wird auf keine andere Weise erklärlich, als wenn man annimmt, dafs das Seewasser ruhig stehend sich bis unter — 3°,67 erkälten läfst und dabei an Dichtigkeit zunimmt, bewegt aber schon bei — 2°,55 gefriert; denn läge das Maximum der Dichtigkeit ganz eigentlich unter dem Gefrierpuncte, so müfste das eben entstandene Eis schwerer seyn, als das Wasser, was gegen alle Erfahrung streitet.

497) Erman's[6] Untersuchungen, worauf sich die angegebene Aeufserung bezieht, sind diejenigen, welche dieser auf den Wunsch A. v. Humboldt's anstellte, weil es von grofser Wichtigkeit ist, darüber Gewifsheit zu erlangen, ob das Seewasser auf gleiche Weise ein Maximum der Dichtigkeit hat, sofern verschiedene sicher begründete Phänomene hiermit nicht vereinbar seyn würden. Man darf, um sich hiervon zu über-

---

1 Mém. prés. à l'Acad. Imp. des Sc. de St. Petersb. T. I.

2 Physikalische Beob. des Captain Lieutenant Baron v. Wrangel. Berl. 1827. S. 32.

3 S. Art. *Eis* Bd. III. S. 140 und *Meer*. Bd. VI. S. 1690.

4 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 1. Poggendorff's Ann. XLI. 66.

5 Dessen Versuche s. Bd. VI. S. 1692.

6 Poggendorff's Ann. XII. 436.

zeugen, unter andern nur einen Blick auf die Tabelle[1] der Temperaturen des Meeres in verschiedenen Tiefen wenden, um sich zu überzeugen, daſs diese nicht so seyn könnten, wie sie gefunden wurden, wenn nicht das mit abnehmender Temperatur zunehmend dichter werdende Wasser stets tiefer hinabsänke. Erman wählte zur Lösung dieses wichtigen Problems die verschiedensten bisher angewandten Methoden, und zwar zuerst die der hydrostatischen Wägungen, wozu ihm eine massive Glaskugel an einer empfindlichen Wage diente. Aus 21 Bestimmungen ergiebt sich, daſs Salzwasser von 1,0270 spec. Gewichte, also dem Seewasser im Mittel gleich, sich von — 3°,87 C. bis 10°,725 durch Temperaturvermehrung fortwährend ausdehnt. Will man die Erkältung bis zu dieser tiefen Temperatur treiben, so muſs das Wasser ganz ruhig bleiben, denn von — 2°,875 C. an werden die Eisnadeln an den Seitenwandungen der Gefäſse gebildet, es wird hierbei Salz ausgeschieden, ohne daſs jedoch ein Maximum der Dichtigkeit zum Vorschein kommt. Wägungen mit einem Nicholson'schen Aräometer innerhalb — 1°,25 und + 15° C. gaben ganz gleiche Resultate. Bei der Anwendung der Hope'schen Methode zeigte das untere Thermometer fortdauernd tiefere Grade als das obere, statt daſs bei süſsem Wasser das Gegentheil eintrat. Endlich wandte er eine für diesen Zweck noch nicht benutzte Methode an, welche darin besteht, die Zeiten des Erkaltens zu beobachten, weil bei einem Wechselpuncte der Dichtigkeiten nach den Beobachtungen Rudberg's (§. 457) ein Stillstand oder eine Verzögerung des Erkaltens eintreten muſs. Wirklich zeigte sich dieses auch beim süſsen Wasser sehr auffallend, indem das Herabsinken von 6°,25 C. bis 5° nur 40,8 Sec., von 3°,75 bis 2°,5 aber 17 Sec. und von 2°,5 bis 1°,25 wieder 30 Sec., von 5° bis 3°,75 dagegen 208,2 Sec. erforderte. Salzwasser von 1,027 spec. Gewicht zeigte aber einen solchen Stillstand selbst bis — 5° C. herab nicht. Interessante Resultate gab die Anwendung dieser Methode auf minder gehaltreiche Salzlösungen. Bei einer solchen von 1,02 spec. Gewichte ging die Erkaltung regelmäſsig fort bis — 1°,5 C., dann aber trat ein lange dauernder Stillstand ein, wobei sich am Boden des Gefäſses Eis bildete, wonach also der dem Maximum der Dichtigkeit zugehörige Stillstand

1 S. Art. *Meer*. Bd. VI. S. 1676.

mit dem durch die Eisbildung erzeugten zusammenfällt. Auch diese Solution hat daher kein über — 1°,25 C. liegendes Maximum der Dichtigkeit, vielmehr fällt dasselbe mit dem Gefrierpuncte zusammen. Bei einer Solution von 1,01 spec. Gewicht dagegen blieb das Thermometer lange stationär bei 1°,875 C., fiel dann bis — 2°,5, die Eisbildung begann und das Thermometer stieg wieder bis — 0,625, welches für den Gefrierpunct dieser Lösung gelten kann. Hieraus folgt daher, daſs Salzwasser von 1,027 spec. Gewicht kein Maximum der Dichtigkeit hat, denn selbst beim Gefrieren eines Theiles wird Salz ausgeschieden, und das Maximum sinkt tiefer herab, sofern die Zusammenziehung der Flüssigkeit stets zunimmt. Bei Salzwasser von 1,02 spec. Gewicht findet gleichfalls kein Maximum der Dichtigkeit statt oder es fällt mit dem Gefrierpuncte bei — 1°,5 C. zusammen, bei Salzwasser von 1,01 spec. Gewicht dagegen liegt dieses Maximum ungefähr bei 1,875 C.

Bewogen durch die angegebene Aeuſserung von Despretz revidirte Erman[1] seine früheren Versuche, ohne jedoch einen Fehler in den angestellten Berechnungen zu entdecken. Auſserdem aber stellte er mit einem dem früheren ähnlichen Aräometer abermals eine Versuchsreihe an, die er jedoch nur von — 1°,475 bis 23°,44 ausdehnte und mit den Wägungen in destillirtem Wasser von 0° bis fast 28° C. verglich. Bei letzterem zeigte sich deutlich das Maximum der Dichtigkeit, bei der Salzsolution von 1,027 spec. Gewicht war keine Andeutung davon zu entdecken. Dieses zeigte schon die bloſse Uebersicht der gemessenen Gröſsen; es ging aber noch augenfälliger aus der alle Bedingungen und Correctionen einschlieſsenden Berechnung hervor, denn die Differentialgleichung für das Maximum der Dichtigkeit nach den beobachteten Werthen gab nur imaginäre Werthe, was auf das Fehlen eines solchen Maximums deutet[2]. Erman vermuthet daher mit Recht, daſs

---

1 Poggendorff's Ann. XLI. 72.

2 Nach der aus meinen Versuchen §. 487 gefundenen Formel hat das Seewasser allerdings einen Punct der gröſsten Dichtigkeit, was aus theoretischen Gründen mehr Wahrscheinlichkeit für sich hat, sofern die wesentlichen Eigenschaften des Wassers durch aufgelöste Salze nicht geändert werden. Wenn aber die Temperatur dieses Maximums der Dichtigkeit unter dem Gefrierpuncte zu liegen scheint, so ist zwar die erhaltene Bestimmung aus angegebenen Gründen nicht

Despretz durch die beginnende Eisbildung im Salzwasser getäuscht worden sey und ein Gemenge aus Eis und flüssiger Kochsalzlösung specifisch leichter gefunden habe, als die Flüssigkeit, aus welcher dieses entstanden war.

498) Wenn gleich die durch Despretz erhaltenen Resultate über die Anwesenheit eines Maximums der Dichtigkeit bei Salzsolutionen und über ihren Gefrierpunct etwas verdächtig werden, sofern man wohl als erwiesen annehmen kann, daſs er die anfängliche Entstehung des Eises, zwischen dessen Theilchen eine concentrirtere Lösung zurückblieb, übersehen habe, was nicht blos Erman's eben mitgetheilte Erläuterungen, sondern auch Parrot's frühere Versuche[1] genügend darthun, so verdienen dennoch die Ergebnisse seiner zahlreichen Versuche mit sonstigen Auflösungen verschiedener Salze im Wasser[2] hier mitgetheilt zu werden, aus denen im Allgemeinen hervor-

absolut sicher, noch weniger ist dieses aber in Beziehung auf den Gefrierpunct der Fall, welcher durch das Ausscheiden des Salzes bedingt wird. Dieser Umstand verdient sehr beachtet zu werden, denn es ist sonst kaum möglich, die verschiedenen, durch Versuche und Beobachtungen erhaltenen Resultate über den Gefrierpunct und die Temperatur der gröſsten Dichtigkeit des Seewassers unter sich zu vereinigen und mit der Theorie in Einklang zu bringen, obgleich die genaue Ermittelung der Wahrheit bei einer so einfachen Aufgabe nichts weniger als schwierig zu seyn scheint. Nach meinen Versuchen und der daraus erhaltenen Formel ist die Temperatur des Seewassers bei seiner gröſsten Dichtigkeit = — 5° C. Steht der Genauigkeit dieser Bestimmung gleich der Umstand entgegen, daſs die Formel bis zur vierten Potenz der Temperaturen ausgedehnt ist, wie oben §. 484 bemerkt wurde, so kann doch die Abweichung nicht groſs seyn, wenn man die anderen, auf gleiche Weise erhaltenen, Resultate berücksichtigt. Der Mangel an Uebereinstimmung mit der Erfahrung wird aber leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, daſs die nach der Formel gefundene Temperatur für das Maximum der Dichtigkeit dann statt finden würde, wenn das Mischungsverhältniſs der Salzsolution unverändert bliebe, in welchem Falle sie bis —5° C. erkältet bei dieser Temperatur am dichtesten seyn und sofort gänzlich gefrieren würde. Dieses wird aber durch die inzwischen erfolgende Ausscheidung des Salzes gehindert, worüber die Formel jedoch keine Auskunft geben kann. Jenachdem diese Ausscheidung des Salzes leichter erfolgt, trifft das Gefrieren eine zunehmend minder gesättigte Solution und der Gefrierpunct rückt stets höher hinauf, woraus dann die ungleichen Bestimmungen des Gefrierpunctes erklärlich werden.

1 G. LXVII. 144 ff.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 1. Poggendorff's Ann. XLI. 66.

geht, dafs durch Vermehrung der aufgelösten Salzmengen sowohl das Maximum der Dichtigkeit, als auch der Gefrierpunct des reinen Wassers tiefer herabgeht. Hierbei versteht sich von selbst, dafs in den Fällen, wenn das Maximum der Dichtigkeit einer tieferen Temperatur zugehört, als wobei der Gefrierpunct liegt, die Lösung sich auf gleiche Weise, als das Wasser, bis zu mehreren Graden unter den Gefrierpunct durch ruhiges Stehen erkalten liefs. Es wird indefs genügen, nur die Resultate tabellarisch zusammenzustellen, wobei zu bemerken, dafs die Menge des Wassers, worin die angegebenen Salzmengen aufgelöst waren, stets 997450 betrug.

| Menge der aufgelösten Salze. | | Temperat. des Maximums der Dichtigkeiten. | Gefrierp. d. bewegten Flüssigkeit. |
|---|---|---|---|
| Salzsaures Natron . . | 12346 Th. | 1°,19 C. | —1°,20 |
| | 24692 — | — 1,69 | — 2,24 |
| | 37039 — | — 4,75 | — 2,77 |
| | 74078 — | —16,00 | — 4,30 |
| Salzsaurer Kalk . . . | 6173 — | 2,04 | — 0,53 |
| | 24692 — | 0,06 | — 0,03 |
| | 37039 — | — 2,43 | — 3,92 |
| | 74078 — | —10,43 | — 5,28 |
| Schwefelsaures Kali . | 6173 — | 2,92 | — 0,15 |
| | 12346 — | 1,91 | — 0,27 |
| | 24692 — | — 0,11 | — 0,55 |
| | 37039 — | — 2,28 | — 2,09 |
| | 74078 — | — 8,37 | — 4,08 |
| Schwefelsaures Natron . | 6173 — | 2,52 | — 0,17 |
| | 12346 — | 1,15 | — 0,36 |
| | 24692 — | — 1,51 | — 0,68 |
| | 37039 — | — 4,33 | — 2,30 |
| | 74078 — | —12,26 | — 2,39 |
| Kohlensaures Kali . . | 37039 — | — 3,95 | — 3,21 |
| | 74078 — | —12,41 | — 2,25 |
| Kohlensaures Natron . | 37039 — | — 7,01 | — 2,85 |
| | 74078 — | —17,30 | — 2,20 |
| Schwefelsaures Kupfer . | 57996 — | — 0,62 | — 1,32 |
| Reine Pottasche . . . | 37039 — | — 5,64 | — 2,10 |
| | 74078 — | —15,95 | — 4,33 |
| Schwefelsäure . . . | 6173 — | 2,18 | — 0,21 |
| | 12346 — | 0,60 | — 0,44 |
| | 18974 — | — 1,92 | — 1,09 |
| | 37039 — | — 5,02 | — 1,34 |
| | 74078 — | —13,72 | — 2,75 |
| Alkohol . . . . . | 74078 — | 2,30 | — 2,83 |

Im Ganzen ersieht man hieraus, daſs das Maximum der Dichtigkeit des Wassers durch Zusatz von Salzen, Säuren und Alkohol bei zunehmender Menge der letzteren stets zu niedrigern Temperaturen weiter hinabrückt, und zwar bei einigen Substanzen mehr, bei andern weniger, Margarinsäure dagegen. Oelsäure, Stearinsäure, Olivenöl, Cetin, Paraffin und Naphthalin ziehen sich fortdauernd zusammen, ohne ein Maximum der Dichtigkeit zu zeigen.

Hiermit stimmen im Ganzen die Resultate überein, welche Bellani[1] erhalten hat, unter denen sich sehr viel Bekanntes findet, weswegen ich nur Weniges heraushebe. Eine concentrirte Lösung von schwefelsaurem Natron in Wasser erkaltet in Ruhe bis selbst mehrere Grade unter 0, Erschütterung aber oder das Hineinbringen eines kleinen Krystalls oder eines sonstigen trockenen Körpers bewirkt augenblickliche Krystallisation unter fühlbarer Wärmeentwicklung und Vermehrung des Volumens; Letzteres zeigte sich, als die Flüssigkeit in einem Kolben mit engem Halse krystallisirte und das Volumen von 1000 auf 1023 wuchs, ohne Aufsteigen von Luftblasen. Bellani glaubt, die Raumvermehrung sey Folge davon, daſs das Wasser sich als Eis in dem Salze befinde, was wohl keiner Widerlegung bedarf. Schwefelsaure Thonerde läſst sich gleichfalls tief erkälten, und beim Krystallisiren erfolgt Vermehrung des Volumens; bei Salpetersolution ist letztere nicht wahrnehmbar, doch ist der Einfluſs des Erkaltens, so wie die Zusammenziehung des Glases, nicht berücksichtigt. Eine Lösung von Kupferammoniak in Wasser mit einem Zusatz von 0,1 Alkohol krystallisirte bei — 10° C., ohne daſs die Flüssigkeit gefror, gesättigter Kampferspiritus widerstand noch gröſserer Kälte und zeigte dann keine Volumensvermehrung[2]. Sächsisches Vitriolöl, schwach rauchend, von 1,840 spec. Gewicht, gefror erst bei 0°, zerfloſs aber gestanden erst bei 11°,25; verdünntes von 1,78 spec. Gewicht schmolz bei 8°, beide mit Verminderung ihres Volumens, und zwar war diese Zusammenziehung bei

1 Brugnatelli Giorn. di Fisica, Chim. cet. Bim. 3 e 4. T. X. Daraus in Wiener Zeitschrift Bd. III. S. 481. Eine frühere Abh. desselben findet sich ebend. Bd. VI.

2 Sollten diese beiden Versuche eigentlichen Werth haben, so müſsten die Thatsachen genauer bestimmt und die Nebenbedingungen ausgeschieden seyn.

dem verdünnten am gröfsten. Radicalessig liefs sich bis 10° und noch tiefer erkälten, ohne zu gestehn, sein eigentlicher Krystallisations- und Schmelzpunct soll aber bei 21°,25 liegen und keine Audehnung, vielmehr eine Zusammenziehung desselben hierbei statt finden. Die Flüssigkeitsgrenze des Olivenöls setzt Bellani auf 5°,25, ferner die des Stearins auf 21°,25, des Oleins auf — 5°; beide vereint können bedeutend erkalten, ohne zu gestehn, vorzüglich wenn sie vorher stark erhitzt waren, und unter keiner Bedingung findet eine Ausdehnung derselben durch das Gefrieren statt.

Ueber die bekannte Ausdehnung des entstehenden Eises sind neuere und aus dem Grunde werthvolle Versuche angestellt worden, weil aus ihnen hervorgeht, dafs die Kälte, in welcher das Eis seine enorme Kraft ausübt, nicht eben sehr intensiv seyn mufs und dabei eine gänzliche Erstarrung des gesammten Wassers nicht erfordert wird[1]. Im Arsenal zu Warschau wurde eine eiserne Bombe mit Wasser gefüllt, durch eine eiserne Schraube verschlossen und einer Kälte von — 6°,11 C. ausgesetzt, worauf sie nach 7 Stunden so zersprengt wurde, dafs das eine Stück 10 Fufs, das andere 7 Fufs weit fortgeschleudert war, ungeachtet die Dicke der Eiskruste nur 6 Lin. betrug. Eine andere Bombe zerborst in einer Kälte von — 2°,22 C., eins der Stücke flog bis 4 Fufs weit, und die Eiskruste betrug nur 13 Linien. Vauquelin[2] liefs Auflösungen sowohl von Salpeter, als auch Salmiak und Glaubersalz in Kugeln mit engeren Röhren krystallisiren und fand, dafs sie mit starker Gewalt aus einander gesprengt wurden; als Marx[3] diese Versuche wiederholte, fand er das Resultat nicht bestätigt, vielleicht weil die Solutionen einen verschiedenen Grad der Concentration hatten.

499) Behalten wir bei den übrigen nachträglichen Bemerkungen über das *Eis* die in diesem Artikel durch Horner befolgte Ordnung bei, so läfst sich an das, was dort über die Bestimmung der *Krystallform* desselben nach Clarke[4] berichtet

1 Biblioth. univ. 1830. Fevr. p. 314. Wiener Zeitschrift Bd. VIII. S. 469. Dingler's polytechnisches Journ. Bd. XXXV. S. 355.

2 Ann. de Chim. T. XIV. p. 286.

3 Schweigger's Journ. LX. 12.

4 Trans. of the Phil. Soc. of Cambridge. T. I. P. 11. Bibliothèque univ. T. XXVIII. p. 47. Edinb. Philos. Jour. N. IX. p. 213.

worden ist, noch Folgendes anknüpfen. Nach Smithson [1] ist dessen Krystallform eine doppelt-sechsseitige Pyramide, wie Bergkrystall, mit einem Winkel von 80° an der Vereinigung beider Pyramiden. Die Spitze der einen Pyramide ist abgestumpft, und er bemerkt hierbei, daſs solche Krystalle nach Hauy durch Wärme elektrisch werden. Am genügendsten ist wohl diese Aufgabe durch Brewster [2] behandelt worden, welcher schon früher ermittelt hatte, daſs das Eis ein das Licht doppelt brechender Körper sey, von einer einzigen optischen Axe, welche senkrecht gegen die Fläche des auf ruhigem Wasser gebildeten Eises stehe. Hieraus folgert er, daſs dasselbe entweder zum rhomboëdrischen oder sechsgliedrigen oder viergliedrigen Krystallisationssysteme gehöre, und es gelang ihm, hierüber bestimmter entscheiden zu können. Am Morgen nach einer kalten Nacht erhielt er aus einem runden Wasserbassin, welches gegen jede Bewegung der Luft durch eine steinerne Brustwehr geschützt war, eine sehr dünne, gänzlich blasenfreie und vollkommen durchsichtige Eisplatte, und freute sich, bei näherer Untersuchung die dreiflächigen Spitzen zweier sehr stumpfen Rhomboëder zu entdecken, die sich über die Fläche erhoben. Als die Eisplatte dem polarisirten Lichte ausgesetzt wurde, zeigte sie in der gegen ihre Fläche lothrechten Richtung das positive einaxige System der Ringe. Eine Messung der Winkel war unmöglich wegen der Wärme des Tages und der zu groſsen Entfernung von dem Hause, wohin es gebracht werden muſste. Die beschriebene Krystallisation glich genau einigen Exemplaren von Hauy's *Chaux carbonatée basée*, die Brewster sah, auf deren ebener Oberfläche mehrere abgestumpfte Spitzen von Kalkspath-Rhomboëdern mit ihrer Axe lothrecht gegen die Fläche der Platte gebildet waren. Die Mannigfaltigkeit der Gruppirung dieser Krystalle zeigt sich vorzüglich in den *Schneeflocken* [3] und in den blumigen Gebilden auf Fensterscheiben, welche einzeln zu untersuchen ins Unendliche führen würde [4].

---

1 Annals of Philos. New Ser. 1823. Mai p. 340. Vergl. Berzelius Jahresber. 1825. S. 75.

2 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XXII. p. 245. Poggendorff's Ann. XXXII. 399.

3 Vergl. *Schnee*. Bd. IX. S. 556 und die dazu gehörigen Tafeln.

4 Vergl. Hessel's Bemerkungen in Kastner's Archiv. Bd. X. S. 299. Die ungleiche Wärmeleitung der Glasscheiben kommt bei diesem

Ein kürzlich von mir beobachtetes, gewiſs sehr seltenes, Phänomen war, daſs nach einer kalten Nacht in einem ungeheizten Zimmer die Fensterscheiben überall mit Wasser stark bedeckt waren, welches sich beim Abwischen in einen nur mit Mühe wegzuschaffenden undurchsichtigen Ueberzug von Eis verwandelte. Durch den Einfluſs sehr intensiver Kälte erzeugen sich im Wasser schnell eine Menge Eiskrystalle, zwischen denen die noch nicht gefrornen Theile verbreitet und so eingeschlossen sind, daſs das Ganze eine wenig durchsichtige, homogen scheinende Masse bildet, derjenigen sehr ähnlich, die man erhält, wenn eine gesättigte Solution von schwefelsaurem Natron in einem luftleeren Medicinglase nach dem Sieden erkaltet ist und beim Oeffnen des Glases plötzlich krystallisirt (§. 456). Letzteres Phänomen, so wie überhaupt das Krystallisiren, könnte gleichfalls unter die Processe des Gefrierens gerechnet werden, es findet dabei aber der wesentliche Unterschied statt, daſs bei der Bildung der Krystalle diese sich von dem heterogenen Menstruum trennen, beim Gefrieren aber homogene Massen aus dem Zustande der Flüssigkeit in den der Festigkeit übergehn, weswegen auch bei jenen kein Gefrierpunct statt findet; die Aehnlichkeit beider Processe, namentlich des Gestehens der Glaubersalzlösung und des Gefrierens des Wassers, beruhet also bloſs auf der Eigenthümlichkeit, daſs in beiden Fällen die zu einer Masse vereinten Krystalle in ihren Zwischenräumen Flüssigkeit eingeschlossen enthalten, die beim Wasser später gleichfalls in Eis verwandelt wird und dann die Ausdehnung des letzteren bewirkt. Am deutlichsten gewahrt man dieses, wenn Wasser im luftleeren Raume gefriert, namentlich bei den Versuchen mit dem *Kryophorus* (§. 469), und hieraus erklärt sich leicht die bekannte Ausdehnung des Eises sowohl überhaupt, als auch die ungleiche Gröſse derselben im Besonderen, wie nicht minder der Umstand, daſs sich selbst in dem im Vacuum gebildeten Eise kleine Bläschen zeigen, die dadurch entstehen, daſs die schon gebildeten Krystalle durch die neu entstandenen

---

Processe gleichfalls in Betrachtung. Legt man an die Auſsenseite einer Fensterscheibe im Winter eine Metallplatte an, so wird sie an dieser Stelle nicht mit Eis bedeckt, weil das Metall die Wärme reflectirt, nach Carena in Bibl. univ. T. II. p. 238, ist aber inwendig Stanniol aufgeklebt, so ist der Niederschlag hierauf stärker, als auf dem Glase, nach Biot Traité. T. IV. p. 66.

in gröſsere Räume ausgedehnt werden, als das zwischenbefindliche Wasser auszufüllen vermag, oder daſs die durch das Gefrieren frei werdende Wärme Dampfbläschen bildet, welche durch das nachher entstehende Eis umschlossen werden. So fand unter andern Bellani[1] bei seinen ausführlichen Untersuchungen über die Erscheinungen des Gefrierens in 6 Versuchen das specifische Gewicht des Eises zwischen 0,885 und 0,910, wie auch nicht minder die beträchtliche Ausdehnung desjenigen, welches aus luftfreiem Wasser nach wiederholtem starken Auskochen in einer Glasröhre gebildet wurde, was als Beweis gegen Homberg's[2] Ansicht gelten kann, nach welcher die Ausdehnung eine Folge der aus dem Wasser entweichenden Luft seyn soll. Daſs auch in solchem Eise, welches im Vacuum entsteht, kleine Bläschen erzeugt werden, beobachtete Cagnard-Latour[3], als er Wasser in kleinen Wasserhämmern gefrieren lieſs; es versteht sich aber von selbst, daſs das Eis um so viel klarer ist, je reiner das Wasser war, woraus es gebildet wurde, und je weniger Bläschen sich darin befinden, denn letztere machen es undurchsichtiger[4]. Eine höchst merkwürdige Erscheinung bleibt stets die Zusammenziehung des Wassers bis zum Maximum seiner Dichtigkeit und dann die beginnende Ausdehnung desselben bei zunehmender Kälte, die bis mehrere Grade unter den Gefrierpunct bei vollkommener Ruhe fortgeht. Das plötzliche Gefrieren eines Theiles oder bei erreichter sehr starker Kälte des Ganzen, was jedoch nur Täuschung ist, sofern der noch nicht erstarrte Antheil des Wassers zwischen den Eiskrystallen mechanisch festgehalten wird und erst später allmälig unter fortdauernder Ausdehnung der bereits erstarrten Masse gefriert, läſst sich leicht aus der Analogie mit dem Krystallisationsprocesse im Allgemeinen erklären. Unrichtig geschah dieses durch Holmann[5] und Kraft[6], welche glaubten, es sey das plötzliche Gefrieren eine Folge der von auſsen hinzukommenden Wärme, die das Wasser ausdehne und somit

---

1 Brugnatelli Giornale. T. I. p. 410.

2 Mém. de l'Acad. 1699.

3 L'Institut. VIIIme Ann. N. 318. p. 42.

4 American Journ. of Science and Arts. 1821. Febr. Bibl. univ. T. XIX. p. 243.

5 Gött. gelehrte Anz. 1743. Jan.

6 Comment. Soc. Petrop. T. XIV. p. 226.

die dem Eise nothwendige Volumens-Vergröfserung einleite. Seit der Kenntnifs des latenten Wärmestoffs kann kein Zweifel darüber obwalten, dafs dieser sich von den Molecülen des Wassers nicht trennt, obgleich die sensible Wärme abnimmt, und dafs dieselben sich daher nicht zu Krystallen vereinigen können. Dadurch ist aber die unterdem Maximum der Dichtigkeit beginnende Ausdehnung noch nicht erklärt, und mir ist auch keine Hypothese bekannt, die man zu diesem Zweck aufgestellt habe. Die Aufgabe gewinnt dadurch an Schwierigkeit, dafs die zunächstliegende Vermuthung der Entstehung unmerklich kleiner Krystalle, obgleich diese sich von selbst aufdringt, aller eigentlichen Stütze ermangelt; denn wenn solche Krystalle auch von geringster Gröfse vorhanden wären, so müfsten sie nach höchster Wahrscheinlichkeit einen Einflufs auf den polarisirten Lichtstrahl ausüben, was aber nach von Smithson[1] und von mir selbst wiederholt angestellten Versuchen keineswegs statt findet.

Als beiläufige Bemerkung möge hier noch eine Beobachtung erwähnt werden, welche Pontus zu Cahors gelegentlich machte. Dieser liefs Wasser unter der exantlirten Campane einer Luftpumpe in einer kleinen, 1 bis 2 Centim. hohen Flasche gefrieren, indem er dieselbe durch umgebende, in Aether getränkte, Baumwolle erkältete, und gewahrte dabei einen am Tage sichtbaren Funken, welchen Schweigger[2] für Krystallelektricität erklärt; inzwischen ist das Phänomen noch nicht allseitig genug erforscht worden, um diese Hypothese als genügend begründet zu betrachten, da ohnehin das eigentliche Wesen der Krystallelektricität wohl noch nicht vollkommen festgestellt worden ist.

500) Horner[3] hat in einem eigenen Abschnitte die Entstehung des *Grundeises* (Glace du fond; *Ground Ice;* im südlichen Schottland *Lappered-Ice*) abgehandelt, die er mit Recht eine anomale Eisbildung nennt. Obgleich das Wasser der Natur der Sache nach nur an der Oberfläche gefriert, an den Seiten und am Boden aber nur in solchen Gefäfsen, die

---

1 Ann. of Philos. New Ser. 1823. p. 240. Berzelius Jahresbericht 1825. S. 74.

2 Dessen Journal Th. VIII. S. 294.

3 S. Art. *Eis.* Bd. III. S. 127.

ihre Wärme gerade von hier aus so schnell an die äufsere Umgebung abtreten, dafs das bis zu 0° erkaltete und dadurch specifisch leichter gewordene Wasser nicht aufsteigen kann, sondern durch Adhäsion an den Wandungen fest gehalten und durch schnelle Entziehung der Wärme in Eis verwandelt wird, obgleich also diesemnach am Boden der Flüsse, der Seen und des Meeres kein Eis entstehen kann, die Physiker daher die so oft aus der Erfahrung gefolgerte Existenz des Grundeises in Abrede stellten und die darüber vorhandenen Beobachtungen auf anderweitige Weise zu erklären suchten, so ist doch wohl das wirkliche Vorhandenseyn des Grundeises aus den bereits beigebrachten Thatsachen hinlänglich erwiesen [1] und dessen Entstehung genügend erklärt; inzwischen haben unterdefs bedeutende Gelehrte dieses Problem einer weiteren Untersuchung unterworfen, und die Resultate ihrer Forschungen verdienen daher hier nachträglich erwähnt zu werden. Dahin gehört vorzugsweise eine ausführliche, sowohl ältere als auch neuere Erfahrungen und Hypothesen berücksichtigende Untersuchung von Arago [2], woraus wir einiges, noch nicht erwähntes, entnehmen.

Zuvörderst wird das wirkliche Vorkommen des Grundeises zwar als erwiesen angenommen, keineswegs aber die Erklärung seines Entstehns als genügend begründet, weswegen der Hauptzweck darauf gerichtet ist, die bekannten Thatsachen möglichst vollständig zusammenzustellen, wobei man jedoch bald erkennt, dafs die von Horner gegebene Erklärung als der Sache angemessen erscheint. Dieses geht besonders aus den Beobachtungen hervor, welche Knight [3] bekannt gemacht hat. Das Flüfschen Teme in Herfordshire ist zum Behuf einiger Mühlen durch eine Schleuse aufgestauet und bildet hinter dieser ein gröfseres Becken. Nach einer sehr kalten Nacht sah man in dem Wasser, welches über das Wehr herabstürzt, Millionen schwimmender Eisnadeln, die hervorragenden Steine in dem

1 Merian's Abhandlung über diesen Gegenstand findet man auch in Edinb. Phil. Journ. N. XXV. p. 125 und Steenke's Beobachtung der schwimmenden Ketten in Edinburgh New Phil. Journ. N. XXIX. p. 193.

2 Annuaire pour 1833. p. 244. Poggendorff's Ann. XXVIII. 204. Edinb. New Phil. Journ. N. XXIX. p. 123.

3 Philos. Trans. T. CVI.

engen Canale des Flusses unterhalb der Schleuse waren aber mit einer silberweifsen Kruste überzogen, die bei näherer Untersuchung aus zusammengefügten, sich nach allen Richtungen durchkreuzenden Eisnadeln bestand und über einigen zu bedeutenden Massen anwuchs, während auf der Oberfläche nur an einigen ruhigen Stellen des Ufers gewöhnliches compactes Eis sich angesetzt hatte. Am 11ten Febr. 1816 sahen die Brücken- und Wegebaumeister zu Strafsburg von der Brücke bei Kehl herab den Boden des Rheins mit Eis bedeckt, welches sich gegen 10 Uhr Morgens losrifs und fortschwamm; es war sehr locker und hatte sich nur an hervorragenden Steinen gebildet. Sehr ausführliche Beobachtungen über dieses Phänomen hat Hugi[1] mitgetheilt. Am 16ten Febr. 1827 sah er bei ruhig fliefsendem Wasser eine Menge Eisstücke vom Boden der Aar aufsteigen und fortfliefsen, ganz mit dem übereinstimmend, was Hales hierüber in Beziehung auf die Themse berichtet. Die Temperatur der Luft war — 5°,7, nahe am Wasser — 4°,9, an der Oberfläche des Flusses 2°,1, am Brückenbogen, wo sich kein Eis bildete, 3° und am Boden, von wo das Eis aufstieg, 0° C. Ebenderselbe sah am 12ten Febr. 1829, als in der Nacht das Thermometer bis — 14° C. herabgegangen war, dafs der Flufs in seiner Mitte mit Eis ging, ohne dafs sich solches an den Ufern angesetzt hatte. Aus diesem bildeten sich sogar mehrere Eisinseln, deren am folgenden Tage 23 entstanden, eine von 100 Fufs Durchmesser, alle aus einer 2,5 bis 4 Zoll dicken compacten Eisdecke bestehend, die auf einer vom Boden in Gestalt eines umgekehrten Kegels aufsteigenden lockeren und schwammigen Eismasse festsafsen. Zur Zeit der Beobachtung war die Temperatur der Luft 28 Fufs über der Aar — 11°,2, 4 Fufs über derselben — 9°,4; in 2 Zoll Tiefe des Wassers 0°, in 5,5 Fufs Tiefe 1°, 6 Zoll vom Boden 1°,5 und am Boden selbst 2°,4 C.; jedoch wurden diese Messungen an einer Stelle gemacht, wo sich kein Grundeis gebildet hatte. Nach den Angaben, welche Fargeau der Pariser Akademie mittheilte, sah er am 25sten Jan. 1829 bei — 13°,71 C. Lufttemperatur die Steine im Rheine bei Kehl an einer Stelle, wo eine starke Strömung vorbeiging, mit schwammigem Eise belegt, weit gröfsere Massen desselben aber zeigten sich an Stei-

1 Bibl. univers. 1829. Juillet. T. XLI. p. 201.

nen und hervorragenden Holzstücken; das Wasser hatte an der Oberfläche und am Boden 0° Wärme, auch sah FARGEAU unter seinen Augen solche Stücke emporkommen und als Treibeis fortfliefsen; desgleichen sagte ihm der Besitzer eines Hammerwerkes in den Vogesen, dafs er das Bette seines Baches alle Jahre von Steinen und sonstigen Hervorragungen befreien lasse, um das Entstehen des Grundeises zu verhüten. DUHAMEL liefs im Februar 1830 das Eis der Seine zwei bis drei Fufs vom Ufer durchbrechen, und fand am Boden eine 4 Centim. dicke Eisschicht, die Temperatur des Wassers war aber überall = 0° C.

Nicht ohne Interesse ist der Ueberblick der verschiedenen Theorieen, die man über dieses Phänomen aufgestellt hat. Nach dem Volksglauben der Fischer, sagt ARAGO, wird das Grundeis durch die erkältende Eigenschaft des Mondes gebildet und durch die Sonnenstrahlen emporgezogen. Nach einer andern Erklärung[1] soll Wärme durch heftige Bewegung entstehn, und da die Flüsse an der Oberfläche am stärksten strömen, so mufs ebendaselbst die Wärme am gröfsten seyn, am Boden aber am geringsten, wodurch das Eis entsteht und durch die sich entbindende Luft emporgetrieben wird. Dafs man nach NOLLET die Existenz des Grundeises ganz in Abrede stellte und die Thatsachen aus Eisschollen, durch kleine Flüsse zugeführt oder an den Ufern bei ungleichem Wasserstande gebildet, zu erklären suchte, ist bekannt, aber ebenso gewifs auch, dafs diese Erklärung auf die späteren genauen Beobachtungen nicht pafst. Wenn Mc. KEEVER meint, die Steine und sonstigen Hervorragungen in den Flüssen hätten ein stärkeres Strahlungsvermögen und würden dadurch kälter, so läfst sich dieser Hypothese aufser andern Argumenten namentlich entgegenstellen, dafs dann das Grundeis auch im ruhigen Wasser entstehn müfste, wovon kein Beispiel vorhanden ist. Die Erklärung, welche ARAGO giebt, ist folgende. Das Wasser wird an der Oberfläche erkältet und kann im Zustande der Ruhe am Boden nicht gefrieren, weil es bei 0° specifisch leichter ist, als bei 4° C., weswegen das wärmere herabsinkt; bei bewegtem aber, wenn es durch seine ganze Masse bis 0° erkaltet ist, werden sich

---

1 Observations sur les écrits modernes. T. XXXI. vom Jahr 1742.

nach dem Verhalten beim Krystallisiren überhaupt an den Hervorragungen die ersten Eisnadeln ansetzen. Hierzu kommt, daſs die stärkere Bewegung an der Oberfläche die ersten entstandenen Krystalle wieder zerreiſst, die sich aber in den ruhigern, wenn auch nur verhältniſsmäſsig minder bewegten Schichten über dem Boden zu Massen anhäufen. Inzwischen hält Arago diese Erklärung nicht für genügend, weil noch nicht ausgemacht worden ist, ob das Grundeis sich bloſs dann bildet, wenn die Wärme der ganzen Wassermasse auf 0° C. herabgegangen ist, und man noch nicht weiſs, welche Rolle die von Knight wahrgenommenen kleinen, auf der Oberfläche schwimmenden Eiskrystalle bei diesem Processe spielen. Dazu kommt noch die merkwürdige Beobachtung von Hugi. Dieser lieſs an der Stelle, wo das Grundeis entstand, Krüge, mit heiſsem und mit kaltem Wasser gefüllt, in die Tiefe hinab und fand beim Herausziehn die ersten mit einer zolldicken Eiskruste umgeben, die andern frei; auch gaben heiſse und kalte Kugeln, in Zeuge gewickelt und herabgelassen, dieselben Resultate. Diese Versuche müssen durchaus wiederholt werden, um die hierbei eigentlich einwirkenden Bedingungen genau kennen zu lernen[1].

501) Die hier aufgestellten Ansichten theilt Eisdale[2] nicht ganz. Er bezieht sich auf eine früher von ihm mitgetheilte Nachricht über ein Phänomen, welches übrigens allen Einwohnern von Perth bekannt sey, indem bei jedem plötzlich eintretenden Froste, ehe sich das Eis von den Ufern aus über den Fluſs ausbreitet, eine Menge Stücke lockeren Eises an Felsen und hervorragenden Gegenständen am Boden gebildet werden und schnell zu einer solchen Gröſse wachsen, daſs der Strom sie losreiſst und mit sich führt. Gegen Arago's Hypothese wendet er ein, daſs hiernach bei jeder Kälte Grundeis entstehn müſste, sobald das Wasser die erforderliche Temperatur erreicht habe, was jedoch der Fall nicht sey, wie sich namentlich bei der strengen Kälte im Winter von 1813 auf 14 gezeigt habe, als der Tay dickes und klares

---

1 Man könnte diese Erscheinung auf das §. 305 u. 518 erwähnte Verhalten der Wärme zurückführen, allein vor jeder Erklärung müssen zuvor die Thatsachen selbst und die dabei statt findenden Bedingungen genau constatirt seyn.

2 Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXIII. p. 167.

Eis an den Ufern gehabt habe, ohne irgend eine Spur von Grundeis am Boden. Dagegen beruft er sich auf die Erfahrung aller Besitzer von Wasserwerken, die sich hierfür vorzugsweise interessiren, und nach deren Behauptung Grundeis nur dann entsteht, wenn ein sogenannter Rauchfrost oder Eisnebel vorangegangen ist. Hierbei fallen die feinen Eisnadeln in das Wasser, werden in Folge der Bewegung desselben nicht aufgelöst, sondern theilen sich der gesammten Masse mit, kühlen diese bis zum Gefrierpuncte ab und setzen sich dann zuerst an die hervorragenden Steine an. Zur Unterstützung dieser Ansicht führt er eine Aeufserung von Demarest an, wonach das Grundeis am leichtesten bei trübem Himmel entstehn soll, wobei er die Trübheit als ein Zeichen vorhandenen Eisnebels betrachtet. Ebenso leitet er die durch Knight beobachteten kleinen Eispartikeln, welche auf dem Wasser schwammen, worin sich unterhalb des Wehrs Grundeis bildete, von einem in der Nacht statt gefundenen Eisnebel ab. Inzwischen läfst sich hierüber weiter nichts sagen, als dafs allerdings die beim Eisnebel ins Wasser fallenden kleinen Eisnadeln, wenn auch die ersten derselben geschmolzen werden, dennoch eben hierdurch das Wasser bis auf den Nullpunct abkühlen und daher die zur Bildung des Grundeises erforderliche Bedingung befördern, ebenso wenig aber läfst sich in Abrede stellen, dafs durch die Wirkung einer intensiven Kälte auf die Oberfläche des Wassers solche feine Eisnadeln gleichfalls gebildet werden müssen und der Erfahrung nach auch wirklich entstehn, wodurch dann die erforderliche Bedingung gleichfalls gegeben ist.

502) Dieser Einwurf findet die vollste Bestätigung durch die höchst interessanten Versuche, welche Strehlke an einem Arme der Spree anstellte. Als nach milder Witterung im Februar 1832 vom 12ten an die Temperatur bei Ostwind und völlig heiterem Himmel unter den Gefrierpunct herabging und am 14ten Abends — 8°,75 C. erreichte, liefs derselbe einen mit Steinen beschwerten Korb, worin sich aufserdem Metallplatten und auch eine durch Holzstäbe festgeklemmte Bürste befand, um 10 Uhr Abends in das Wasser des Canals von einem Flosse aus bis zu etwa 3 Fufs Tiefe und 7 bis 8 Fufs Entfernung vom Ufer auf den Boden hinab, und obgleich der Himmel in der ganzen Nacht heiter, auch die Oberfläche des

Wassers nirgend gefroren war, so war doch um 7 Uhr Morgens der Korb selbst, nebst allen darin liegenden Gegenständen, vorzugsweise aber die Bürste, überall mit Eisnadeln bedeckt. Auf den Zinkplatten mit rauherer Oberfläche, im Verhältnifs zum Kupfer, zeigten sie sich zahlreicher, waren wenig durchsichtig und liefsen sich leicht trennen; auch hingen diesen ganz gleiche Blättchen an Eisnadeln, die sich am Morgen bildeten, und eine Menge derselben schwamm auf dem Wasser. Strehlke setzte die Versuche vom 15ten bis 21sten in jeder Nacht fort, der Himmel war jederzeit hell, die Temperatur der Luft war am 15ten — 8°,5 C. und stieg erst am 20sten Morgens 6 Uhr, auf welche Zeit sich alle Angaben beziehn, bis — 5° C., wobei ausdrücklich bemerkt wird, dafs nach den psychrometrischen Messungen des Directors August der Feuchtigkeitszustand der Luft vom 15ten an zunahm. Hierdurch ist wohl genügend erwiesen, dafs in der Luft gebildete Eisnadeln ebenso wenig als trüber Himmel zur Bildung des Grundeises erforderlich sind, obgleich von der andern Seite beide Ursachen dieselbe der Erfahrung nach nicht hindern, wohl aber die Erzeugung ähnlicher Blättchen, als woraus das Grundeis besteht, bewirken können, hauptsächlich wenn man das anfängliche schwammige, lockere und wenig durchsichtige Eis, womit die Flüsse vor dem Zufrieren in enormer Quantität bedeckt zu seyn pflegen, der herrschenden Ansicht nach für wirklich am Boden gebildetes und statisch aufgestiegenes Grundeis hält, welches sich dann von den vereinten Flocken des in das Wasser gefallenen Schnees oder Eisnebels nicht unterscheiden liefse. Dem Grundeise vollkommen gleichende Eisblättchen sieht man stets in den Eislöchern, die in das Eis der Flüsse gehauen sind und nicht selten in bedeutender Menge zum Vorschein kommen, und falls diese gleichfalls am Boden entstehn und aufsteigen, wie Strehlke annimmt, so veranlafst dieses die interessante Frage, ob Grundeis in den Flüssen auch dann gebildet wird, wenn sie schon mit einer Eisdecke belegt sind, oder ob es sich blofs unter den Eislöchern erzeugt. Eine fortdauernde, der anfänglichen hinsichtlich der Quantität gleichkommende Bildung des Grundeises am Boden der Flüsse ist deswegen nicht wahrscheinlich, weil sonst die Eisdecke durch das stete Aufsteigen desselben eine weit gröfsere Dicke erhalten müfste, als die Erfahrung ergiebt. In Beziehung auf die auf-

geworfene Frage macht Ayke[1] die Bemerkung, dafs auf der Weichsel und Radaune in der Regel offene Stellen (sogenannte *Blänke*) bleiben oder von den Schiffern quer durch das Eis des Stromes, auch als runde Löcher von den Fischern gehauen werden; einige liefs er selbst zum Zwecke der Beobachtungen herrichten. Die Schiffer behaupten dann, dafs sich in den Fahrstrafsen Grundeis als zersplitterte Massen zeige, die er aber für Bruchstücke des zerschlagenen und unter die feste Decke geschobenen, vom bewegten Wasser fortgetriebenen Eises zu halten geneigt ist, in den Löchern aber bildet sich nach seiner Erfahrung zwar oft Eis, aber allezeit aus den gewöhnlichen Eisnadeln, die von den Rändern ausgehn und allmälig die Oeffnung mit festem durchsichtigem Eise überziehn. Dafs in ihnen Grundeis emporkomme, wie von Einigen behauptet wird, stellt er in Abrede und glaubt daher, dafs kein Grundeis weiter gebildet werde, nachdem bereits eine feste Eisdecke entstanden ist, was man mindestens für das Wahrscheinlichste halten mufs. Ob das auf der Weichsel und Radaune in grofser Menge oft in einer Nacht gebildete, zuweilen in mächtigen, bis auf den Grund hinabreichenden Massen aufgehäufte, zu einer festen Decke gefrierende, durch offene oder mit festem Eise bedeckte grofse Strecken unterbrochene sogenannte Grundeis wirklich auf dem Boden erzeugt sey, bleibt wohl problematisch, da Ayke nie solches von dem schlammigen Grunde beider Flüsse durch Stangen losmachen konnte, was hätte geschehn müssen, wenn es dort vorhanden gewesen wäre.

503) Gay-Lussac[2] ist nicht ganz einverstanden mit der durch Arago gegebenen Erklärung, welche nach seiner Ansicht darauf beruht, dafs die Erhabenheiten und Hervorragungen den Krystallisationsprocefs von Salzsolutionen einleiten und befördern sollen. Allein dieses findet nur dann statt, wenn diese Lösungen übersättigt sind, und selbst unter dieser Bedingung ist ein plötzliches Hinzukommen solcher heterogener Körper in die ruhige Flüssigkeit erforderlich, denn wenn sie vorher vorhanden sind, kann die Uebersättigung eintreten, ohne dafs sie die Krystallbildung bewirken. Ein solcher Zustand der Uebersättigung würde aber beim Wasser einer Erkältung unter den

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 122.

2 Annales de Chim. et Phys. T. LXIII. p. 359.

Gefrierpunct analog seyn, und letztere kann nicht eintreten, so lange das Wasser in steter Bewegung ist, wie denn auch die Messungen eine Temperatur desselben von 0° C. geben, wenn die Bildung des Grundeises statt findet. Aus diesem Grunde denkt sich Gay-Lussac die Entstehung des Grundeises, dessen Daseyn als unzweifelhaft erscheinen mufs, auf folgende Weise. Wenn namentlich bei plötzlich eintretender Kälte und heiterer, trockner Luft das Wasser überhaupt, insbesondere aber dessen Oberfläche, stark erkaltet, so bilden sich auf letzterer unter Mitwirkung erhöhter Verdunstung kleine Eiskrystalle in grofser Menge, deren Temperatur merklich unter 0° C. hinabgeht. In Folge der steten Bewegung werden diese durch die gesammte Wassermasse verbreitet, lösen sich auf und bringen dadurch die Temperatur derselben auf den Gefrierpunct herab. Nachdem dieses erfolgt ist, werden die fortdauernd gebildeten und unter 0° C. erkalteten Eistheilchen durch die mechanische Gewalt des Wassers in die Tiefe hinabgedrückt und gefrieren durch den Ueberschufs ihrer Kälte lose an den hervorragenden Gegenständen, andere hinzukommende setzen sich aus gleichen Gründen an diese ersteren fest, und so entsteht bald die lockere Masse des Grundeises am Boden des sehr bewegten Wassers, statt dafs sich auf der Oberfläche des minder bewegten Wassers die Eisnadeln vereinigen und hier das schwammige Eis bilden, welches mit gleichem Namen belegt wird[1]. Sind die Eisnadeln sehr erkaltet, haben sie eine grofse Feinheit und lagern sie sich eng zusammen, so dafs das zwischen ihnen befindliche Wasser gleichfalls gefriert, so entsteht hierdurch die feste Eis-

---

1 Wenn dieses lockere Eis der ruhiger fliefsenden Ströme an Stellen gelangt, wo die Bewegung stärker ist, insbesondere in vorhandene Strudel, so kann es in die Tiefe gezogen werden, daselbst an Hervorragungen festsitzen und zu den grofsen, später gefährlich werdenden Anhäufungen dienen, welche Ayke erwähnt. Nicht schwierig zu erklären ist dann ferner, dafs zwischen den mit sogenanntem Grundeis bedeckten Flächen der Ströme sich bleibend grofse, freie Strecken befinden, denn die Bewegung, namentlich der Oberfläche des Wassers, wird durch die überdeckende Lage Grundeis verzögert, zwischen zwei solchen Lagen ist sie daher schneller, und deswegen werden die gebildeten Eisnadeln der vorderen Lage zugeführt, dringen gröfstentheils unter diese und vermehren deren Dicke, die Stellen aber bleiben offen oder werden durch eine von beiden Lagen ausgehende, allmälig gebildete Decke festen Eises überzogen.

rinde, welche nicht selten die Steine am Boden der Flüsse umgiebt. Zur Unterstützung seiner Hypothese giebt Gay-Lussac folgenden Versuch an. Wenn man Erbsen bis einige Grade unter den Gefrierpunct erkältet und sie dann in Wasser von 0° C. Temperatur wirft, so frieren sie am Boden fest, so daſs man das Gefäſs umkehren und das Wasser ausgieſsen kann, ohne sie herausfallen zu machen.

Eine gewiſs minder befriedigende Erklärung dieses vielbesprochenen Phänomens giebt Lazarowicz[1]. Hiernach kann, wie bekannt, in dem bewegten Wasser das etwas wärmere und dadurch specifisch schwerere nicht herabsinken und die gesammte Masse wird daher bis 0° abgekühlt. Die Spitzen rauher Körper erkalten dann etwas tiefer, weil sie ihre Wärme an das Wasser abgeben (?), es setzt sich Eis an ihnen an, welches sich zuerst an den Ufern bildet, dann stets tiefer herab an allen rauheren Stellen und so fort bis zum Boden der Flüsse hinab. Man ersieht aber bald, daſs diese Hypothese nicht allen ausgemachten Thatsachen genügt[2].

---

1 Preuſs. Provincialblätter 1836. Juli.

2 Ueber die Eisbildung der Natur im Groſsen, das *Meereis* und die *Gletscher*, hat Horner ausführlich gehandelt; er kannte beide aus eigener Anschauung. Ueber die letzteren erwähne ich daher nur eine Abhandlung von Agassiz in Edinb. New Phil. Journ. N. XLVIII. p. 364 und eine andere ebend. N. LIV. p. 383. Noch erwähne ich eine unbedeutende und leicht zu erklärende Erscheinung. Beim Wechsel des Thauwetters mit dem Gefrieren oder nach dem anfänglichen Gefrieren findet man an nassen, schmuzigen Stellen häufig die Fuſstapfen und sonstigen Vertiefungen mit einer dünnen Eisdecke überzogen, unter welcher das Wasser fehlt. Zerstöſst man diese, so dringt die Luft mit einigem Geräusche, selbst mit einem Knalle ein, ja sie drückt zuweilen so stark auf die Eisfläche, daſs diese mit einem Knalle zerspringt; durch eintretendes Thauwetter füllen sich die Höhlungen wieder mit Wasser. Godard in Lichtenberg's Magaz. Th. I. St. 1. S. 72 leitet dieses von der Verdünnung der Luft in den Räumen des thonigen Bodens ab, in die sich das Wasser hierdurch zurückzieht, nachdem sich eine Eisdecke über demselben gebildet hat und der umgebende nasse Boden durch Gefrieren erhärtet ist; bei eintretender Wärme muſs dann das Wasser zurückkehren. Auch das Ausbleiben einiger Brunnen in kalten Nächten soll aus dieser Ursache erklärbar seyn.

Den mitgetheilten Hypothesen über die Entstehung des Grundeises noch eine neue hinzuzufügen oder überhaupt über eine unter ihnen

504) Das *Quecksilber* galt wegen seines tiefliegenden Gefrierpunctes stets für ein überall nicht gestehendes Metall, bis erst gegen die Mitte des letzten Jahrhunderts das Gefrieren desselben bekannt wurde. Eine ausführliche Geschichte der ersten Versuche und Erfahrungen hierüber hat Blagden[1] zusammengestellt, woraus hier das Wesentlichste mit Weglassung der ausführlichen Erzählung von Nebenumständen mitgetheilt werden möge. Zuerst sah Gmelin im Jahre 1734 zu Jeniseisk das Quecksilber seines Thermometers bis — 120° F. herabsinken, was offenbar ein Beweis des Gestehns war, allein wegen der Gewalt des bei ihm herrschenden Vorurtheils, dafs dieses Metall nie in den Zustand der Festigkeit übergehe, glaubte er, es sey hierdurch eine so enorme Kälte gemessen worden, und als auch nachher wiederholt das Nämliche erfolgte, das Quecksilber aber wirklich gestanden zu seyn schien, leitete er dieses von dem Essig her, womit das Quecksilber gereinigt worden war. Einen bedeutenden Schritt weiter kam Braun[2] und constatirte zuerst

---

bestimmt zu entscheiden wage ich in der That nicht; sie haben sämmtlich Manches für sich und stützen sich alle auf Beobachtungen. Der Versuch mit Erbsen, welchen Gay-Lussac zur Erklärung anführt, würde alle Schwierigkeiten heben, seine Anwendung auf das Grundeis setzt indefs voraus, dafs die Steine und sonstigen Körper am Boden der Flüsse unter den Gefrierpunct des Wassers erkaltet seyn müfsten, was aber nicht erwiesen und nach den allgemein herrschenden Ansichten über das Verhalten der Wärme nicht einmal zulässig ist, denn die Steine und hervorragenden Körper erhalten ihre Wärme vom Wasser und geben sie wieder an dieses ab, welches Letztere nur dann geschehn kann, wenn sie selbst wärmer sind, mithin müfste das Wasser früher als sie unter den Gefrierpunct hinabgehn. Dennoch bin ich geneigt, den hervorragenden Steinen und sonstigen Körpern am Boden der Flüsse eine Mitwirkung bei der Bildung des Grundeises zuzuschreiben. Das Grundeis wird in der Regel während der Nacht gebildet, und so gut als der Erdboden nach dem Schwinden des erregenden Lichtes, namentlich der Sonnenstrahlen, schneller erkaltet, als aus der Strahlung folgen kann, wie hoch man deren Wirkung auch steigern mag, können sich auch die genannten Hervorragungen abkühlen, nachdem sie ihre erregte Wärme anhaltend an das Wasser abgegeben haben. Die Bildung des Grundeises wäre dann ein der Entstehung des Thaues und des Reifes analoger Procefs.

1 Philos. Trans. T. LXXIII. P. II. p. 329. Leipz. Samml. zur Physik u. Naturg. Th. III. St. 3 u. 5. S. 347 u. 515.

2 De admirando frigore artificiali cet. Petrop. 1760. 4. Nov. Comm. Petrop. T. XI. p. 268. Addit. et Supplem. ib. p. 302.

das Gefrieren dieses Metalls, indem er am 14. Dec. 1759 ein Thermometer in eine Mischung von Schnee und rauchender Salpetersäure senkte, dasselbe bis — 352° F. herabsinken sah und den Zustand der Erstarrung deutlich erkannte; am 25sten wiederholte er den Versuch, erhielt ein ähnliches Resultat, zerbrach dann aber die Kugel und sah das Quecksilber als weiches Metall, hämmerbar, unelastisch und von dumpfem Klange. Nach der Bekanntwerdung dieser Thatsachen wurde die Aufmerksamkeit der Physiker auf diesen Gegenstand gerichtet, denn man wünschte nun um so mehr den Grad der Kälte zu wissen, wobei das Gestehn erfolgte. Dieser Bestimmung sich nähernd beobachtete BLUMENBACH[1] am 11ten Jan. 1774 das Gestehn des Quecksilbers in einer Mischung von Schnee und Salmiak, worin ein Weingeistthermometer — 10° F. (— 23°,33 C.) zeigte, welche Messung jedoch nach neueren Untersuchungen nicht richtig seyn kann. Unterdefs hatte die Societät zu London dem Gouverneur HUTCHINS zu Albany-Fort an der Hudsonsbai den Auftrag gegeben, in der dortigen strengen Kälte Versuche anzustellen, und dieser sah im Januar und Februar 1775 zweimal das Quecksilber wirklich gefrieren[2]. BICKER zu Rotterdam brachte im Jan. 1776 die Kugel des Thermometers bei — 17° C. äufserer Temperatur in eine kaltmachende Mischung und sah das Quecksilber bis — 70° herabsinken, wobei es ohne Zweifel gefroren war, doch glaubte er nur die Oberfläche amalgamartig erstarrt gesehn zu haben, statt dafs FOTHERGILL um dieselbe Zeit bei — 13° C. Lufttemperatur den Versuch wiederholte und sich vom wirklichen Gefrieren des Quecksilbers überzeugte.

Alle diese Versuche wurden mit Quecksilberthermometern angestellt, womit man zugleich den Gefrierpunct des Metalls bestimmen wollte, ohne zu berücksichtigen, dafs dieses wegen der starken Zusammenziehung unmöglich sey, und daher kam es, dafs man nach BRAUN's Versuchen den Gefrierpunct auf — 352° F. setzte. Es war daher ein sehr vernünftiger Rath, den CAVENDISH und BLACK ertheilten, in das zum Gefrieren bestimmte freie Quecksilber ein Weingeistthermometer zu senken und durch dieses den Gefrierpunct zu bestimmen. Dieses

1 Gött. gel. Anzeigen 1774. St. 13.
2 Philos. Trans. T. LXVI. p. 174

geschah in wiederholten Versuchen durch Hutchins[1] zu Albany-Fort im Jahre 1781, woraus sich ergab, dafs der Gefrierpunct nicht unter — 39°,5 C. liegen könne und die beobachteten tieferen Grade als Folge der Zusammenziehung zu betrachten seyen. Eigentlich konnte man dieses schon früher wissen, denn Pallas sah am 6. Dec. 1772 zu Krasnojarsk in Sibirien das Quecksilber durch natürliche Kälte nicht blofs im Thermometer, sondern auch in einem offenen Gefäfse zum festen Metalle erstarren, und als durch einen Nordwestwind das Aufthauen erfolgte, zeigte das Thermometer —43°,33 C. Ebenso sah auch Laxmann[2] in Sibirien das Quecksilber in natürlicher Kälte gefrieren, worauf Euler und Kraft in Petersburg Versuche anstellten und hieraus folgerten, dafs das Quecksilber gefriere, wenn die Temperatur unter — 37°,5 herabsinke. Wenn es sich aber um eine genaue Bestimmung des Gefrierpunctes des Quecksilbers handelt, welcher dann zugleich der Schmelzpunct desselben seyn müfste, so darf man sich nicht wundern, dafs dieser so verschieden angegeben wird, denn es findet hierbei ohne Zweifel dasjenige statt, was oben (§. 495) bereits erörtert worden ist, sofern dieser Punct in Folge des Freiwerdens der latenten Wärme schwankt und daher höher zu liegen scheint, wenn dem Quecksilber durch natürliche Kälte diese Wärme allmälig entzogen wird, tiefer aber, wenn man dasselbe durch künstliche Mittel schneller zum Gefrieren bringt. So zeigte Guthrie[3], dafs es keineswegs so schwierig sey, bei starker äufserer Kälte das Quecksilber zum Gefrieren zu bringen, und dafs dieses Metall dabei ganz rein seyn könne, was man bis dahin bezweifelt hatte. Als die (oben §. 461) erwähnten Versuche, hauptsächlich von Walker, über die Erzeugung starker Kälte durch Mischungen von Schnee mit Salzen und Säuren bekannt und vielfach wiederholt wurden, gehörte das Gefrieren des Quecksilbers zu den gewöhnlich erzielten Resultaten, woran man die Kraft der angewandten Mischungen zu messen suchte, und bei den besseren gelang dieser Versuch in der Regel ohne grofse Schwierigkeiten selbst in

1 Philos. Trans. T. LXXIII. p. 303.

2 Nov. Acta Petrop. T. III. p. 60.

3 Nouvelles expériences pour servir à determiner le vrai point de congélation du mercure. Petersb. 1785. 4.

einer Umgebung von mittlerer Temperatur, ohne jedoch eine scharfe Bestimmung des eigentlichen Gefrierpunctes zu geben. Nach den hierdurch erhaltenen Erfahrungen setzt man den Gefrierpunct des Quecksilbers auf — 39° C., und wenn Pouillet[1] ihn vermittelst seines thermomagnetischen Apparates bei — 40°,5 fand, so weicht dieses hiervon nicht bedeutend ab, dürfte aber wohl gar die richtigere Bestimmung seyn, da der Weingeist sich mit der abnehmenden Temperatur vermindert ausdehnt, mithin die tieferen Grade des Weingeistthermometers stets beträchtlich zu hoch sind. Vergleichen wir hiermit die oben erwähnte höchste Angabe von L. Euler und Kraft, wonach mindestens — 37°,5 Kälte zum Gefrieren des Quecksilbers erfordert werden, so wäre hiernach der Gefrierpunct des Quecksilbers zwischen — 37°,5 und — 39° C. des uncorrigirten Weingeistthermometers bestimmt. Der geringe Unterschied von 1°,5 C. könnte leicht als eine Folge der gröfseren oder geringeren Reinheit des Weingeistes in den gebrauchten Thermometern erscheinen, allein es ist aufserdem eine in dieser Beziehung höchst merkwürdige Erfahrung vorhanden. Ross[2], dem bei seinem Winteraufenthalte im nordamericanischen Polarmeere die tiefsten Grade der natürlichen Kälte zu Gebote standen, liefs zur Vermeidung jeder Verunreinigung das Quecksilber in hölzernen Gefäfsen gefrieren und fand dabei, dafs das Gestehn des Quecksilbers früher erfolgte, wenn die nämliche Masse wiederholt zum Gefrieren gebracht wurde; das frische nämlich gestand bei — 39° C., das öfter gefrorene bei — 35° C. des Weingeistthermometers.

505) Mit weit geringerer Schärfe lassen sich die Gefrierpuncte der übrigen Flüssigkeiten angeben, denn da sie, aufser dem *Brom*, alle zusammengesetzt sind und man sie daher nicht stets von gleicher Reinheit anwendet, so bleibt bei ihnen diese Bestimmung leicht unsicher. Vorzugsweise galt der reine Alkohol stets als eine jeder künstlichen Kälte widerstehende Flüssigkeit, und es mufste daher auffallen, als Charles Hutton[3] behauptete und in einer öffentlichen Vorlesung in der

---

1 Compt. rend. 1837. T. I. p. 513. Poggendorff's Ann. XLI. 151.

2 Narrative of a second Voyage in search of the North-West Passage cet. Lond. 1835. 4. App. p. CIX.

3 G. XLVI. 119. Annals of Philos. T. I. p. 221.

Versammlung des Edinburger Institutes wiederholte, dafs es ihm gelungen sey, nach Richter's Methode bereiteten absoluten Alkohol von 0,798 spec. Gewicht bei 16°,67 C., ja sogar von 0,784 specifischen Gewicht bei 19° C. äufserer Temperatur zum Gefrieren zu bringen. Das Verfahren, wodurch ihm dieses gelang und mittelst dessen er sogar alle Gase gefrieren zu machen hoffte, ist nicht angegeben, es läfst sich aber nicht leugnen, dafs Einiges von seiner Erzählung wahrhaft abenteuerlich klingt, z. B. dafs er einzelne Stücke des gefrorenen Alkohols zusammengelöthet habe, wozu er sich einer Stange gefrorenen Quecksilbers oder eines sehr erkalteten Strohhalmes bediente, zweier in Beziehung auf diesen Zweck so heterogener Körper, dafs man sich eines Lächelns über ihre Zusammenstellung nicht enthalten kann. Es gehörte aber ein kaum begreiflicher Grad von Dreistigkeit auf seiner Seite und von unbedingtem Vertrauen auf der Seite seiner Zuhörer dazu, dafs Letztere sich alle die wunderbaren Resultate vortragen liefsen, die Ersterer erhalten zu haben behauptete, ohne die drei Bestandtheile, aus denen der absolute Alkohol bestehn sollte und die er sich zu den weiteren Versuchen in gröfseren Quantitäten verschafft zu haben versicherte, auch nur einmal sich vorzeigen zu lassen. Gegenwärtig, nachdem durch die feste Kohlensäure weit tiefere Kältegrade erzeugt werden, als welche Hutton mit den ihm zu Gebote stehenden Mitteln erreichen konnte, ist genugsam erwiesen worden, dafs absoluter Alkohol sich zwar verdickt und also ohne Zweifel auch gefriert, allein in der bis jetzt erreichten Kälte nicht vollständig, und auf jeden Fall findet die behauptete Scheidung in drei verschiedene Flüssigkeiten nicht statt. Dagegen ergiebt sich aus der Zusammenstellung verschiedener Erfahrungen, dafs der Alkohol durch die Einwirkung der Kälte dickflüssiger, gleichsam ölartig wird, und zwar um so leichter, je gröfser der in ihm enthaltene Antheil Wasser ist. Hierbei müssen wir annehmen, dafs entweder die Kälte einen Theil des Alkohols ausscheidet und dieser die feinen Eistheilchen des Wassers in sich mechanisch verbreitet enthält, oder dafs eine solche Trennung nicht statt findet, vielmehr die unveränderte homogene Masse sich verdichtet und zuletzt völlig gesteht. Die erstere Hypothese ist die bei weitem wahrscheinlichere, denn es ist eine bekannte Sache, dafs durch das Gefrieren des Weines die mehr geistigen

Theile von dem in Eis verwandelten Wasser getrennt werden können. Aus leicht begreiflichen Gründen findet diese eigentliche Trennung des Wassers als Eis von den geistigeren Theilen bei geistigern Mischungen nicht statt, wohl aber eine Verminderung der Fluidität und ein höherer Grad von Dickflüssigkeit. Gewöhnlichen käuflichen Spiritus, dessen man sich zum Verbrennen bedient, sah ich selbst[1] bei — 28° C. sich ölartig verdicken, und Parry beobachtete bei seinem Winteraufenthalte auf der Insel Melville, dafs stärkster Cognac in einer Kälte von — 45° C., die auf kurze Zeit bis — 48°,5 herabging, auf dem Verdecke des Schiffes in offenen Gefäfsen Syrupsdicke annahm. Diese Verdickung folgt schon aus der starken Zusammenziehung des absoluten Alkohols durch die Einwirkung intensiver Kälte, denn nach Parry's[2] Messungen mit Kugeln an Thermometerröhren zieht sich Alkohol von 0,8156 spec. Gewicht bei 16°,44 C. zwischen 9°,78 und — 38°,5 um 0,000894 seines Volumens für 1° C. zusammen, hydrostatische Wägungen dagegen gaben diese Zusammenziehung für 1° C. zwischen 16°,44 und — 13°,5 beträchtlich gröfser, nämlich = 0,001022, was mit den oben (§. 488) gegebenen Bestimmungen so nahe übereinstimmt, als von unter ganz verschiedenen Bedingungen angestellten Versuchen zu erwarten steht, da noch obendrein die der englischen Physiker nicht durch Rechnung corrigirt sind[3]. Mitchel[4] erzeugte mittelst fester Kohlensäure die tiefsten Kältegrade und fand, dafs Alkohol von 0,798 spec. Gewichte bei — 90° C. dem Oele, bei 98°,9 dem geschmolzenen Wachse glich.

506) Die Gefrierpuncte oder Schmelzpuncte der übrigen, mehr oder minder leicht gestehenden Flüssigkeiten sind in der unten mitgetheilten Tabelle, so weit sie bis jetzt bekannt wurden, aufgenommen, über einige derselben ist aber noch Folgendes zu bemerken. Die verschiedenen *Oele* gestehen bei sehr

---

1 Sur la dilatation de l'alcool absolu cet. in Mém. de l'Acad. de Petersb. 1834. p. 16.

2 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 260.

3 Die Tabelle §. 488 giebt für 9° C. eine Zusammenziehung von 0,001069 und für — 38° dieselbe = 0,000686, also im Mittel = 0,000878.

4 Silliman Amer. Journ. of Sc. and Arts T. XXXV. p. 353.

ungleichen Temperaturen, gemeines Rübsamenöl schon einige Grade über dem Gefrierpuncte des Wassers, und die fetten Oele theilen die Eigenschaft der thierischen Fette, des Wachses und ähnlicher Körper, dafs sie sich fortdauernd über und unter dem Puncte ihres allmäligen und stets zunehmenden Gestehns zusammenziehn. Feines *Mandelöl* gefror nach Ross[1] bei — 9°,45 C., und erhärtete durch gesteigerte Kälte so sehr, dafs eine bei — 34°,45 daraus geformte Kugel durch ein Bret geschossen wurde. Nach den Versuchen über das Gefrieren verschiedener Flüssigkeiten in tiefer, theils natürlicher, theils künstlicher Kälte, welche Parry[2] auf der Melville-Insel anstellte, gefriert *Sassafrasöl* in offenen Gefäfsen bei — 30°,56 C. gänzlich, in eine Thermometerkugel eingeschlossen wird es aber bei — 40° C. noch nicht fest. Bringt man das gefrorne Oel in eine Temperatur von — 23°,33, so wird ein Theil von glänzend gelber Farbe flüssig, und wenn man diesen abgiefst, so besteht der Rest aus langen weifsen Krystallen von der Form rechtwinkliger Parallelogramme, die auch in 10° C. Temperatur aufbewahrt nicht zerfliefsen; der abgegossene gelbe Theil gefriert durch die angegebene Kälte in kleinen spitzen Nadeln. Dabei bemerkte Parry noch eine unerklärbare Eigenthümlichkeit. Dem Lichte ausgesetzt gefror dieser gelbe Antheil in einer flachen Schale schon bei — 26°,7, im Finstern aber noch nicht bei — 42°,8. Oft blieb derselbe bei — 40° Temperatur mehrere Tage flüssig, gefror aber augenblicklich beim Zutritt des Lichtes. Zur Nachtzeit bei einem glänzenden Nordlichte wurde diese Substanz dickflüssig, wie Honig, ohne Krystallisation, aber diese erfolgte sogleich beim Eintritt des Zwielichtes. Bei *Schwefeläther* will Parry bemerkt haben, dafs schon bei — 24°,5 ein Theil gefroren sey, doch konnte er das Ganze noch nicht bei — 42°,8 zum Gefrieren bringen. Man wird hiernach veranlafst zu vermuthen, dafs der von ihm gebrauchte Schwefeläther verunreinigt seyn mochte, denn Mitchell[3] versichert, dafs der von ihm angewandte durch künstliche Kälte mittelst fester Kohlensäure in — 98°,9 Temperatur

1 Narrative of a second Voyage. App. p. CIX.

2 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 260.

3 A. o. a. O.

ganz unverändert geblieben sey. *Schwefelkohlenstoff* veränderte sich nach Parry nicht in natürlicher Kälte von — 42°,8 und auch durch künstliche Kälte konnte er keine Veränderung desselben hervorbringen. Ebendieses war der Fall bei *Chlorzinn*; *Chlorphosphor* dagegen wurde bei — 40° dickflüssig, wie Oel, und gefror bei — 43°,9. Die *schweflige Säure* gefror nach Mitchell bei — 78°,9 und der gefrorne Antheil fiel in dem flüssigen nieder. Im *Salpeteräther* zeigten sich nach Parry in natürlicher Kälte von — 43°,33 sehr feine Flocken, wie Federn, dann nahm er aber in einer durch Alkohol und Schnee erzeugten künstlichen Kälte die Consistenz des Oeles an und gefror gänzlich bei ungefähr — 51° bis — 53° C. Concentrirte *Salpetersäure* gefror durch künstliche Kältemischung bei ungefähr — 45°,5, verdünnte von 1,26 spec. Gewicht bei — 28°,9. Concentrirte Schwefelsäure gefror erst bei — 40°, in zunehmender Wärme zerflofs sie aber erst wieder bei — 37°,2; mit der Hälfte Wasser verdünnt gestand sie zum Theil bei — 32°,2, gänzlich aber bei — 34°,5.

507) Es läfst sich hier noch eine in naher Verbindung stehende Reihe von Versuchen anknüpfen, welche Parry zugleich mit den erwähnten Kälteversuchen anstellte, da ihm die zu Melville herrschende ausnehmend tiefe Temperatur so vortreffliche Hülfsmittel hierzu darbot. Diese bezogen sich auf die Frage, bei welchen Kältegraden die beim Gefrierpuncte des Wassers noch expansiblen Gase zur tropfbaren Flüssigkeit übergehn. *Schwefligsaures Gas* verdichtete sich bei — 32°,2 zu einer weifsen Flüssigkeit, die Verdichtung nahm zu, als die Erkältung bis — 40° herabkam, und die entstandene Flüssigkeit flofs tropfenweise an den Wandungen des Gefäfses herab, auch wurden einige Tropfen einer glänzenden orangefarbenen Flüssigkeit erzeugt. Diese Resultate sind auffallend, denn da der Siedepunct dieser Säure bei — 10° C. liegt, so mufs sie auch unter dieser Temperatur tropfbar-flüssig werden, ohne der so intensiven Kälte von — 32°2 zu bedürfen, es sey denn dafs sie bei ihrer gewöhnlichen Bereitung einem stärkeren Drucke ausgesetzt worden wäre, welcher ihren Uebergang zum tropfbar-flüssigen Zustande beschleunigen könnte. Da nicht angegeben ist, auf welche Weise die von Parry angewandte Säure bereitet wurde, so bleibt ungewifs, ob dieselbe allezeit von gleicher Beschaffenheit ist, jenachdem man verschiedene Methoden der

Bereitung wählt. *Salpetrigsaures Gas* wurde bei — 32°,2 farblos und verwandelte sich in eine gelbliche ölartige Flüssigkeit, bei — 40° aber bildeten sich einige gelbliche Krystalle. Ohne Mitwirkung des Lichtes [1] wird das Gas in eine tropfbare Flüssigkeit verwandelt, gefriert aber noch nicht bei — 43°,3 C. *Ammoniakgas* fing bei — 40° C. an flüssig zu werden. Endlich gelang es auch, *Salpetergas* (*nitrous oxyde*) durch eine Kälte von — 40° bis — 42°,8 tropfbar-flüssig zu machen, die erzeugte Flüssigkeit war zähe und farblos, auch erschienen in derselben einige kleine Krystalle, die wie Fliegenbeine an den innern Wandungen des Gefäſses hafteten und durch Reiben an der Auſsenseite mit einem seidenen Taschentuche elektrisch abgestoſsen wurden. Den höchsten Kältegraden von — 44° C. widerstanden *kieselhaltiges* und *reines fluſssaures Gas*, *ölerzeugendes Gas*, *salpetersaures Gas*, in welchem sich jedoch einige Krystalle zeigten, *Sauerstoffgas* und *salzsaures Gas*. Nicht zur Flüssigkeit gebracht, aber verändert wurde *Kohlensäure*, indem sich einige weiſsliche Krystalle an die Glaswände anlegten [2], *Chlor* wurde schon von — 32°,2 an farblos; aber es flüssig zu machen und zum Krystallisiren zu bringen gelang ohne Compression nicht bei — 43° C. *Schwefelwasserstoffgas* erlitt eine Zersetzung, indem ein dunkelfarbener Antheil desselben über dem Boden ruhte, der durch steigende Wärme sogleich verschwand, auch wurden an den oberen Theilen der Wandungen einige Krystalle gebildet, und mit der Zeit setzten sich schwarze Flecke ab. Man muſs jenen Reisenden dankbar dafür seyn, daſs sie in so grimmiger Kälte auf die Erweiterung der Wissenschaft durch diese interessanten Versuche bedacht waren.

Beim weiteren Verfolgen der Erscheinungen des Schmelzens und Gefrierens der verschiedenen Körper finden wir im Allgemeinen, daſs zunehmende Wärme den Zustand der Festigkeit in den der tropfbaren Flüssigkeit zu verwandeln vermag, allein so wie wir gesehn haben, daſs unterhalb des gleichsam als Grenzscheidung angenommenen Punctes des schmel-

1 Dieses bezieht sich vermuthlich auf das im vorigen Paragraph angegebene eigenthümliche Verhalten des Sassafrasöls.

2 Wie man jetzt weiſs, war dieses ohne Zweifel feste Kohlensäure, wie sie von Thilorier später durch starken Druck und eigene Verdampfung dargestellt worden ist. Beide Entdeckungen wurden unabhängig von einander gemacht.

zenden Eises einige Körper dem Einflusse der höchsten, bis jetzt erreichten Kältegrade widerstehn, gewahren wir auch, dafs oberhalb desselben andere durch die Einwirkung der stärksten Hitze nicht in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit übergehn. Ueber das Schmelzen der Körper in höheren Wärmegraden, als wobei das Eis flüssig wird, sind zwar ungleich mehr Erfahrungen vorhanden, als über das Gefrieren unterhalb dieser Normaltemperatur, weil es viel leichter ist, hohe Grade der Hitze, als intensive Kälte hervorzubringen, einer genauen Bestimmung der Temperaturen aber, wobei nach beiden Seiten hin das Schmelzen eintritt, steht das gleiche Hindernifs entgegen, dafs wir zwar für mittlere Wärmegrade hinlänglich genaue Thermometer besitzen, diese uns aber für die höchsten Hitzegrade noch mehr mangeln oder mindestens schwieriger zu gebrauchen sind, als die für die tiefsten Kältegrade. Zum Glück sind in den neuesten Zeiten auch hierin bedeutende Fortschritte gemacht worden, wie aus dem Verfolge der Untersuchungen hervorgehn wird. Ehe wir aber die verschiedenen höher liegenden Schmelzpuncte aufsuchen, mögen erst einige allgemeine Betrachtungen vorausgehn.

508) Sofern der Theorie nach die Wärme als repulsives Princip gilt, insbesondere wenn der verschiedene Aggregatzustand der Körper nach Laplace als die Folge des stabilen Gleichgewichtes der beiden in stetem Conflicte befindlichen Molecularkräfte, der Attraction und der Repulsion, betrachtet wird, folgt nothwendig, dafs Erhöhung der Temperatur zuerst Vergröfserung des Volumens und dann den Uebergang zur Flüssigkeit bei festen Körpern und zur Dampfform bei flüssigen herbeiführen müsse, und eben die Allgemeinheit dieses Verhaltens ist die Grundlage der hierauf gebaueten Hypothese, wonach die *Wärme* als *repulsive Kraft* oder als deren Träger erscheint. Um so auffallender mufs es aber seyn, wenn sich Ausnahmen von dieser Regel finden, ja die ganze Hypothese müfste als nichtig erscheinen, wenn es deren wirklich gäbe, weil hieraus hervorgehn würde, dafs die Wärme nicht allgemein als repulsives Princip gelten könnte, wenn sie sich in einigen Fällen nicht als solches zeigte. Wirklich kommen aber solche Abweichungen vor, allein sie sind nur scheinbar und vermögen das allgemeine Gesetz nicht umzustofsen, weswegen wir dasselbe bisher stets als gültig betrachteten. Zuerst giebt

es verschiedene Salze, namentlich weinsteinsaure Kalksalze, welche im Wasser gelöst in höheren Temperaturen wieder trübe werden und niederfallen, obgleich sie sich in niederen als völlig klare Lösungen zeigten. Diese alle oder auch nur eine grofse Zahl derselben hier namhaft zu machen würde nicht angemessen seyn, vielmehr genügt es, nur im Allgemeinen zu bemerken, dafs hierbei nicht die Einwirkung der repulsiven Wärme auf die der Anziehung folgenden Molecüle der Körper unmittelbar in Betrachtung kommt, sondern unter vielfach modificirten Bedingungen. Der organischen, vielfach zusammengesetzten Salze nicht zu gedenken bestehn alle unorganische mindestens auf doppelt binären Verbindungen, und die Wärme kann daher die vier vereinten einfachen Körper auf eine Weise verbinden, dafs in den neuen Verbindungen die Attraction ein Uebergewicht über die Repulsivkraft selbst der vermehrten Wärme erhält; kommt obendrein noch Wasser oder ein sonstiges Lösungsmittel hinzu, so ist leicht vorstellbar, dafs die eben durch den Einflufs erhöhter Wärme erzeugten neuen Verbindungen minder löslich sind, als die früher bestandenen, die durch verminderte Temperatur wieder hervortreten. Zur Erläuterung der Sache kann eine bekannte Erfahrung dienen. Wenn man salzsauren Kalk und verdünnte Schwefelsäure, beide im Zustande vollständiger Liquidität, zusammengiefst, so wird Wärme ausgeschieden, und dennoch entsteht eine feste Masse, weil die Verbindung der Schwefelsäure mit dem Kalke ein so viel weniger lösbares Salz (Gyps) bildet, dafs die flüssige und verdünnte Chlorwasserstoffsäure mechanisch zurückgehalten wird.

Um einige Thatsachen hier anzuführen, benutze ich das, was Osann[1] über das vorliegende Problem mitgetheilt hat. Nach ihm nahm Lassone[2] zuerst die auffallende Erscheinung der durch Wärme verminderten Lösbarkeit wahr, indem er in eine siedend heifse Solution von Seignettesalz ätzenden Kalk brachte, wodurch die Flüssigkeit dick und weifslich wurde, beim Filtriren aber klar durch das Filtrum flofs, worauf das Filtrat in der Siedehitze abermals gerann und beim Erkalten sich wieder völlig klar zeigte. Als Lassone die überschüssige

---

1 G. LXIX. 283.

2 Mém. de l'Acad. 1773. p. 214. Crell's chem. Journ. Th. IV. S. 109.

Säure des Weinsteins mittelst Kreide neutralisirte und dann dieses Gemisch mit Kalilauge erhitzte, trübte sich die Masse beim Erhitzen und löste sich beim Erkalten wieder auf. Gay-Lussac[1] erwähnt, dafs essigsaure Thonerde, mit einigen von ihm genannten Salzen gemischt, in der Hitze gerinnt, indem die Thonerde ausgeschieden wird, beim Erkalten wird letztere aber wieder aufgelöst. Osann fand durch eigene Versuche Lassone's Erfahrungen bestätigt und entdeckte aufserdem das nämliche Verhalten bei den Verbindungen des Kalkes mit neutralem und mit saurem weinsteinsaurem Natron; als er aber weinsteinsauren Kalk im Ueberschufs mit Kalilauge kochte, so dafs beim Filtriren der erkalteten Flüssigkeit ein Theil unaufgelöster weinsteinsaurer Kalk zurückblieb, gerann diese Flüssigkeit beim Erhitzen so, dafs man das sie enthaltende Glas umkehren konnte. Ebendieses fand statt bei einer Verbindung von weinsteinsaurem Kalk mit Natronlauge, und der weinsteinsaure Kalk ist daher derjenige Körper, welcher das angegebene abnorme Verhalten zeigt, doch findet es auch bei weinsteinsaurem Strontian mit Kali- oder Natronlauge statt. Kalk in einer Auflösung von Zucker gekocht und nach gänzlichem Erkalten filtrirt giebt gleichfalls eine in der Hitze gerinnende Flüssigkeit[2]. Graham[3] giebt die Ursache dieser Anomalie, die er, aufser bei den Kalkhydraten, auch bei den Lösungen der neutralen phosphorsauren Magnesia (durch Niederschlagung einer Lösung des phosphorsauren Natrons mittelst schwefelsauren Magnesiumoxyds bereitet) wahrnahm, etwas näher an. Hiernach findet dieses Verhalten blofs bei solchen Hydraten statt, welche eine schwache Verwandtschaft zu dem aufgenommenen Wasser haben, die dann durch die Wärme noch mehr geschwächt wird. Auch die Kieselerde ist getrocknet im Wasser unlöslich, als Hydrat aber löst sie sich in demselben allerdings auf.

509) Die hier angegebenen Thatsachen gehören zunächst in das Gebiet der Chemie, ganz eigentlich der Physik angehörig

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIV. p. 195. Schweigger's Journ. V. 48.

2 Lowitz beobachtete dieses zuerst; s. Crell's chem. Ann. Th. I. S. 347.

3 Annals of Philos. 1827. Juli. Wiener Zeitschrift Th. III. S. 493.

ist aber ein anderes Phänomen, welches man meistens mit jenem für verwandt oder gar identisch hält, obgleich es wesentlich davon verschieden ist. Auch der *Schwefel* hat die Eigenschaft, durch vermehrte Wärme aus dem festen Zustande in den der Flüssigkeit überzugehn; wird er dann aber stärker erhitzt, so zeigt er sich in einem hohen Grade dickflüssig, so daſs man das ihn enthaltende Gefäſs umkehren kann, ohne daſs er selbst nur an den Rändern herabflieſst. Läſst man ihn bis zur früheren Temperatur erkalten, so tritt der Zustand der Dünnflüssigkeit wieder ein, und ebendieses ist der Fall, wenn man die Temperatur, in welcher er aus dem geschmolzenen Zustande in den der Zähigkeit übergeht, noch mehr erhöht, obgleich die dann statt findende Fluidität anfangs etwas geringer ist, als die früher bei niedrigerer Temperatur erzeugte. Bei noch mehr wachsender Hitze tritt das Sieden ein, und auf dieses folgt schnell die Sublimation. Um diese Erscheinung einfach wahrzunehmen, darf man nur Schwefel in eine 2 bis 5 Lin. weite, am untern Ende verschlossene Glasröhre von etwa 12 Zoll Länge bringen und diese über Kohlen erhitzen. Der Schwefel wird bald dünnflüssig und zwar in seiner ganzen Masse, wenn man ihn lange genug in der zu diesem Schmelzen erforderlichen Temperatur erhält. Steigert man die Hitze, so verwandelt sich die gelbliche klare Flüssigkeit allmälig in eine zunehmend dunkler werdende, röthlich braune, minder flüssige und zuletzt gänzlich starre, die aber durch Verminderung der Wärme ihre vorige Fluidität wieder erhält, bis nach gehöriger Erkaltung der Zustand der Festigkeit wieder eintritt. Man kann diesen Wechsel nach Belieben oft wiederholen, doch habe ich gefunden, daſs der mehrmals durch Hitze zum Gestehn gebrachte Schwefel seine hellgelbe (schwefelgelbe) Farbe verliert und eine mehr schmuzig weiſse, ins Braune übergehende annimmt. Den Schwefel nach dem Gestehn in höherer Hitze durch noch weiter erhöhte Temperatur nochmals flüssig zu machen ist nicht so leicht, weil die Wärme hierzu beträchtlich seyn muſs und dann bald Sublimation erfolgt.

Dieses merkwürdige, jetzt allgemein bekannte, anomale Verhalten wurde zuerst von Gehlen und Buchholz wahrgenommen[1], nachher aber von sehr vielen bestätigt, unter denen

---

1 Gehlen's Journ. der Chem., Phys. u. Miner. Th. IV. S. 304.

DUMAS[1] die den verschiedenen Zuständen zugehörigen Wärmegrade angegeben hat. Nach diesem krystallisirt der flüssige Schwefel bei 108° C., welches dann zugleich auch sein Schmelzpunct seyn mufs, und hat bei 110° im Zustande vollkommener Flüssigkeit eine hellgelbe Farbe, die bei fortdauernder Flüssigkeit und einer Temperatur von 140° ins Dunkelgelbe übergeht. Bei 170° wird die Flüssigkeit dick und orangegelb, nimmt bis 190° an Dicke zu, wird bei 220° zähe und röthlich, von 230° bis 260° im Zustande grofser Zähigkeit braunroth[2]. Nach MITSCHERLICH[3] ist der Schmelzpunct des Schwefels bei 111° zu setzen; in einer etwas vermehrten Temperatur zeigt er sich vollkommen flüssig, klar und gelb, wie Bernstein; von 160° an beginnt er dickflüssig und braun zu werden und ist bis etwas über 200° erhitzt so dickflüssig, dafs man das Gefäfs, worin er sich befindet, umkehren kann, ohne dafs er herausfliefst. Setzt man die Erhitzung noch weiter, bis zu 316° fort, so siedet der flüssige Schwefel. Die Thatsache selbst ist hiermit genügend festgestellt, und es dürfte nicht eben nöthig seyn, den Umfang derselben noch zu erweitern; allein die Erklärung eines so ungewöhnlichen Verhaltens ist ebenso wichtig als schwierig. Liefse sich gar kein Grund finden, auf den man diese Abweichung von der allgemeinen Regel, wonach die zunehmende Wärme die Molecüle der Körper stets weiter von einander entfernt, zurückzuführen vermöchte, so könnte die Wärme selbst nicht als eigentlich repulsive Potenz erscheinen, weil ihr, wenn auch nur in diesem einzigen Falle, dieser ihr eigentliches Wesen bezeichnende Charakter fehlte. Was zur Erklärung der oben genannten Erscheinungen angeführt worden ist, leidet auf den Schwefel keine unmittelbare Anwendung, denn jene Körper können leicht dadurch unlöslicher werden, dafs die Wärme andere, als die früher vorhandenen, im Wasser weniger lösbare Verbindungen erzeugt; von einer leichteren oder schwereren Lösbarkeit des Schwefels in einem heterogenen Menstruum ist aber nicht die Rede, sondern von

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 83. Poggendorff's Ann. XI. 166.

2 Bei den angegebenen Versuchen mit Schwefel in einer Glasröhre gewahrt man blofs einen Uebergang der hellgelben Flüssigkeit in eine zunehmend dunkler werdende röthlich-braune.

3 Lehrbuch der Chemie. Berlin 1831. Bd. I. S. 40.

dem beginnenden und mit Zunahme der Temperatur verminderten Schmelzen desselben. Die Aufgabe wird noch schwieriger dadurch, dafs der Schwefel, wenn man diese Unterbrechung abrechnet, wie alle andere Körper durch den Einflufs der Wärme aus der Starrheit in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit und von diesem zur Dampfform übergeht.

Eine eigentliche und zugleich genügende Erklärung ist, so viel ich weifs, noch nicht gegeben worden, auch dürfte dieselbe vor der Hand, und ohne eine Vermehrung der bis jetzt bekannten Thatsachen, nicht möglich seyn; inzwischen können wir das Phänomen mit andern auf eine solche Weise in Verbindung bringen, dafs es uns nicht zwingt, das wichtige Gesetz vom stabilen Gleichgewichte der beiden Kräfte, die den verschiedenen Aggregatzustand der Körper bedingen und für deren eine wir die Wärme halten, oder mindestens den Satz, dafs die Wärme ihrer wachsenden Intensität proportional die Molecüle der Körper stets weiter von einander entfernt, deswegen aufzugeben. Nach Schweigger[1] liegt die Ursache in der *Krystall-Elektricität*, wogegen Osann[2] mit Recht erinnert, man wisse eigentlich nicht recht, was Krystall-Elektricität sey, ob sie hierbei statt finde, und noch viel weniger, wie sie diese specielle Wirkung hervorzubrigen vermöge. Letzterer setzt sie vielmehr mit den analogen Erscheinungen bei den Kalksalzen in Verbindung und hält deswegen den Schwefel für einen zusammengesetzten Körper; allein zu dieser Annahme ist kein genügender Grund vorhanden, vielmehr sagt Mitscherlich[3]: „da der zähe, braune Schwefel chemisch „durchaus nicht vom spröden Schwefel verschieden ist, so „folgt, dafs eine und dieselbe Substanz, wenn sie verschie„dentlich behandelt wird, ganz verschiedene Eigenschaften ha„ben könne.“ Dieser Satz, weiter entwickelt, bringt uns der wahren Erklärung mindestens sehr nahe. Der Schwefel ist nach einer Menge von Erfahrungen ein Körper, dessen Molecüle einer veränderlichen Lage gegen einander fähig sind. Von diesen verschiedenen Lagen gegen einander überzeugt uns sein optisches Verhalten, insofern seine Farbe bei den ungleichen

---

1 Dessen Journ. Th. V. S. 57. Th. VIII. S. 294.
2 G. LXIX. 296. Vergl. Poggendorff's Ann. XXXI. 33.
3 A. a. O. S. 42.

Flüssigkeitsgraden sich ändert. Noch mehr können wir uns hiervon überzeugen, sobald wir die Eigenschaften berücksichtigen, die derselbe zeigt, wenn er in den wechselnden Flüssigkeitszuständen plötzlich erkaltet und seine Molecüle somit ihre dermalige eigenthümliche gegenseitige Lage, mindestens gröſstentheils, beibehalten. Diesem analog ist die ungleiche Aggregation der Molecüle verschiedener Körper nach schnellem und langsamem Erkalten, worauf der bleibende Zustand ihrer Sprödigkeit, Elasticität und Biegsamkeit beruht. Nach Dumas[1] wird der bei 110° flüssige Schwefel nach plötzlichem Erkalten sehr brüchig und gelb, und dieses ist bis 140° der Fall, obgleich er dann schon dunkler gelb wird. Bei 170° zeigt er sich dicker und orangegelb, nach schnellem Erkalten aber weniger brüchig und gelb. Plötzlich erkaltet bei 190°, wenn er dickflüssiger und orangefarben war, behält er zwar die gelbe Farbe, ist aber anfangs weich und durchsichtig und wird später von selbst brüchig und undurchsichtig. Steigt die Erhitzung bis 220°, wobei er zähe und röthlich erscheint, so ist die schnell erkaltete Masse bernsteinfarben, weich und durchsichtig. Von 230° bis 260° erhitzt zeigt sich die schnell erkaltete, sehr zähe und braunrothe Masse sehr weich, durchsichtig und röthlich; beim Siedepuncte endlich, welchen Mitscherlich bei 316° setzt, zeigt er sich von braunrother Farbe und minder zähe, nach schnellem Erkalten aber sehr weich, durchsichtig und braunroth. Hieraus folgt schon nothwendig, daſs die Molecüle des Schwefels bei verschiedenen Wärmegraden eine verschiedene gegenseitige Lage gegen einander annehmen müssen, die sie beim schnellen Erkalten, wenn man die geschmolzene Masse in kleinen Theilen, z. B. wenn er flüssig ist, als feinen Strahl, in vieles kaltes Wasser bringt, ganz oder wenig verändert beibehalten. Wären die angeführten Thatsachen nicht genügend, um dieses zu beweisen, so würde es schon unverkennbar aus dem Umstande hervorgehn, daſs der Schwefel zwei Krystallformen hat. Nach Mitscherlich's[2] Untersuchungen läſst sich die eine, welche dem natürlichen Schwefel eigen ist und sich auch bei dem aus dem Schwefelkohlenstoff krystallisirten zeigt,

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 83. Poggendorff's Ann. XI. 166.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXIV. p. 264.

auf ein Oktaëder mit rhombischer Basis zurückführen und gehört also zum zwei- und zweigliedrigen Systeme, die andere, welche man bei dem geschmolzenen und langsam erstarrten Schwefel wahrnimmt, hat ein schiefes Prisma mit rhombischer Basis zur Grundform und würde also nach Weiss zum zwei- und eingliedrigen Systeme gehören. Die Richtigkeit dieser Thatsachen geht mit Sicherheit aus den genauen durch Rudberg[1] angestellten Messungen hervor, wodurch die den beiden Formen zugehörigen Winkel aufgefunden wurden; und wenn man hinzunimmt, dafs der unter verschiedenen Bedingungen erstarrte Schwefel, sich selbst überlassen, allmälig Farbe und Härte ändert, mithin zur eigentlichen oder veränderten Krystallisation übergeht, so läfst sich mit dieser Eigenthümlichkeit auch diejenige leicht in Verbindung bringen, die er rücksichtlich seines Schmelzens zeigt, ohne hierin einen Beweis gegen die Zulässigkeit des allgemeinen, über das Verhalten der Wärme aufgestellten Gesetzes zu finden. Als Talbot[2] eine kleine Menge Schwefel zwischen zwei sich nahe berührenden Glasscheiben über einer Weingeistlampe erhitzte, entfernte sich der Schwefel von der untern Platte und setzte sich an der oberen in vielen Tausenden kleiner Massen an. Wurden die gröfsten der durchsichtigen Partikelchen mit dem Mikroskope betrachtet, so erschienen sie als planconvex, mit der flachen Seite am Glase haftend, und waren so genau sphärisch, dafs selbst die kleineren das Bild eines entfernten Lichtes in ihrem Brennpuncte darstellten; nach einigen Stunden aber hatten zwar die kleineren diese ihre Durchsichtigkeit beibehalten, die gröfseren aber waren in Folge einer vorgegangenen Veränderung der gegenseitigen Lage ihrer Molecüle undurchsichtig geworden. Eine solche, selbst nach dem Erkalten im Innern vorgehende Veränderung stimmt auch mit den durch Mitscherlich und Andere[3] gemachten Beobachtungen überein[4].

---

1 Poggendorff's Ann. II. 423.

2 London and Edinb. Philos. Mag. N. XLVI. p. 189.

3 Vergl. Philos. Magaz. and Annals cet. N. Ser. T. III. p. 144 u. 152.

4 Um die Zahl der Eigenthümlichkeiten im Verhalten des Schwefels noch zu vermehren, verweisen wir auf die oben §. 491 mitgetheilte Beobachtung von Despretz, wonach der flüssige Schwefel der allgemeinen Regel bei tropfbaren Flüssigkeiten zuwider mit zunehmen-

510) Eine zweite allgemeine, auf das Schmelzen und Gefrieren der verschiedenen Körper sich beziehende Bemerkung betrifft den Unterschied der zum Zerfliefsen der Körper erforderlichen Temperaturen, jenachdem dieselben einfach oder zusammengesetzt sind. Nach theoretischen Gründen sollte man sich für berechtigt halten zu schliefsen, dafs der Schmelzpunct zusammengesetzter Körper einer Temperatur zugehöre, welche die mittlere zwischen den beiden ist, wobei die einzelnen Körper schmelzen, oder dafs der leichter schmelzbare Bestandtheil diese seine Eigenschaft an den mit ihm verbundenen übertrage, allein es darf als allgemeine Regel gelten, dafs alle zusammengesetzte Körper bei einer niedrigern Temperatur schmelzen, als welche dem Mittel ihrer beiden Schmelzpuncte zugehört, ja dafs sogar der Schmelzpunct der Zusammensetzung tiefer liegt, als der dem leichtflüssigsten Bestandtheile zugehörige. In den älteren Vorträgen über Physik pflegte man zwei in das Gebiet der Schmelzungen gehörige Apparate zu zeigen, die neuerdings ganz in Vergessenheit gerathen sind und die ich gelegentlich erwähne, falls sie künftig einmal wieder hervorgehoben werden sollten; der eine heifst das *Blut des heiligen Januarius,* der andere das *Wetterparoskop.* Das erstere[1] besteht aus einer Zusammensetzung von Wallrath (*sperma ceti*) und Terpentinspiritus, mit Ochsenzungenwurzel roth gefärbt, welche in eine Glasröhre von geeigneter Gröfse gebracht und diese dann hermetisch verschlossen wird. Man stellt die Mischung so her, dafs sie bei etwas mehr als mittlerer Temperatur flüssig ist, in etwas geringerer Wärme aber gesteht; sie ist daher im gewöhnlichen Zustande fest, wird aber durch die Wärme der Hand flüssig und hat bei hinlänglich dunkler Farbe einige Aehnlichkeit mit dem Blute, unterscheidet sich aber von dem

---

der Hitze sich abnehmend ausdehnt. Allerdings führen die Formeln zur Berechnung der Volumensvermehrung zu einer gleichen Anomalie, allein factisch ist dieselbe noch bei keiner andern Flüssigkeit, als beim Schwefel, nachgewiesen worden und steht daher wohl unfehlbar mit den übrigen Anomalieen dieses eigenthümlichen Körpers in Verbindung.

1 Ungeachtet ich in diesem Augenblicke den Apparat nirgends angegeben finden kann, so erinnere ich mich doch sehr gut, dafs ich den Versuch in Lichtenberg's Vorlesungen gesehn und auch Glasröhren mit dieser Mischung verfertigt habe.

ächten in Neapel dadurch, daſs es ruhig zerflieſst, letzteres aber schäumend aus dem Glase emporsteigt. Das Wetterparoskop[1] besteht aus einer Auflösung des gereinigten Kampfers in nicht absolutem Alkohol. Die Auflösung wird um so weniger reichhaltig an Kampfer, je mehr Wasser dem Alkohol zugesetzt ist, und hat die Eigenthümlichkeit, daſs bei Verminderung der Temperatur der Kampfer in zusammenhängenden Nadeln baumartig oder vielmehr dem Farrenkraut ähnlich ausgeschieden wird. Bringt man daher die Auflösung in geeignete Glasröhren und schmelzt man diese an beiden Enden zu, so lassen sie sich aufhängen, und bei eintretender Temperaturverminderung wird die Ausscheidung erfolgen. Da die Ausscheidung des Kampfers in so viel höheren Temperaturen eintritt, je mehr Kampfer aufgelöst ist, so kann man mehrere Apparate dieser Art verfertigen, und wenn man dann diejenigen Wärmegrade kennt, welche die Ausscheidung bei den einzelnen bewirken, so kann man aus der beginnenden Krystallisation annähernd auf die Temperatur der Umgebung schlieſsen. Hiernach können diese Apparate als unvollkommene Thermometer dienen.

Gegenwärtig dient hauptsächlich das leichtflüssige Metallgemisch, das sogenannte *Rose'sche Metall*, als Beispiel und zum Beweis, wie sehr der Schmelzpunct der Metalle durch ihre Verbindung mit einander herabgebracht wird, denn alle drei Metalle, woraus dasselbe besteht, schmelzen erst in bedeutend hoher Temperatur über dem Siedepuncte des Wassers, die Mischung aber schon unter demselben[2]. Die Sache muſs seit lange schon bekannt gewesen seyn, denn die Blecharbeiter bedienen sich zum Löthen einer Verbindung aus Zinn und Blei, theils wegen des wohlfeileren Preises des letzteren Metalles, theils weil die Mischung leichter schmilzt, als selbst der leichtflüssigste Be-

1 Lichtenberg (vermischte Schriften Bd. VIII. S. 124) giebt an, daſs Romieu im Jahre 1746 zuerst das Auskrystallisiren des Kampfers aus verdünntem Alkohol wahrgenommen und in Mém. de l'Acad. 1756 (daraus in Hamburger Mag. Th. XI. S. 78) bekannt gemacht habe. Als Erfinder dieses Apparates gilt Joseph Barth aus Nürnberg. Seit 1792 waren Wetterparoskope sehr beliebt und wurden in Menge verkauft. Was Lichtenberg gegen die Wortbildung sagt, ist richtig, doch soll es nicht Wetterbaroskop, sondern Paroskop heiſsen, weil es das Wetter vorherverkündigt.

2 Vergleiche Rudberg über das Erkalten der Legirungen dieser Metalle, oben §. 457.

standtheil beider, das Zinn. ROSE[1] aber lenkte zuerst die Aufmerksamkeit auf diejenige Mischung, welche schon im siedenden Wasser flüssig wird und nach seiner Angabe aus 2 Th. Wismuth, 1 Th. Blei und 1 Th. Zinn besteht. Ein anderes Mischungsverhältniſs giebt D'ARCET[2] an, nämlich 8 Th. Wismuth, 5 Th. Blei und 3 Th. Zinn, DÖBEREINER[3] dagegen hält 118 Th. Zinn, 207 Th. Blei und 284 Th. Wismuth für das zweckmäſsigste Verhältniſs, doch ist für den gewöhnlichen Gebrauch nicht nothwendig, ein scharf bestimmtes Verhältniſs inne zu halten, wenn man nur ein den angegebenen genähertes wählt, worin stets die Menge des Wismuths gegen die der beiden übrigen am gröſsten ist. Die Metallmischung wird wegen dieses ihres eigenthümlichen Verhaltens zu manchen Zwecken benutzt, und weil sie zugleich vom Wismuth die Eigenschaft annimmt, sich beim Erstarren auszudehnen und daher in feine Räume einzudringen, so schlägt GASSICOURT[4] vor, Stereotypen aus derselben in der Art zu verfertigen, daſs die Erhabenheiten, auf die man dieselbe gieſst, sich darin abdrücken, und er glaubt, daſs dieses sogar bei einer dicken und stark hervorragenden Schrift auf Papier geschehen würde[5]. Aber nicht bloſs bei den genannten Metallen findet das angegebene Verhalten statt, sondern man darf sagen, daſs es bei allen angetroffen wird, jedoch nicht in gleichem Grade, ja bei der Verbindung des Kupfers mit Zink als Messing und mit Zinn als Glockenspeise rückt zwar der Schmelzpunct unter den des Kupfers herab, aber nicht bis zu der Hitze, welche die mittlere beider Schmelzpuncte ist, wobei aber das quantitative Verhältniſs beider verbundener Metalle einen Unterschied herbeiführt.

1 Stralsund'sches Magaz. Th. II. S. 24.

2 Journ. de Phys. T. IX. p. 217.

3 Schweigger's Journ. Bd. XLII. S. 182.

4 Ann. gén. des Sciences phys. T. III. Schweigger's Journ. Bd. XXXIII. S. 443.

5 PRECHTL in: Jahrbücher des polyt. Institutes zu Wien. 1819. Th. I. S. 197 theilt eine ausführliche Tabelle über die Temperaturen mit, in denen diese Legirungen nach ihren ungleichen Mischungsverhältnissen schmelzen. Hiernach schmilzt eine Zusammensetzung aus 8 Th. Wismuth, 8 Th. Blei und 3 Th. Zinn am leichtesten, nämlich bei 94°,5 C. Unter den Legirungen von Zinn und Blei schmelzt die, welche aus 4 Th. Blei und 6 Th. Zinn besteht, am leichtesten, nämlich bei 168°,9 C.

Legt man ein Stück Zinn auf ein Kupferblech, so vereinigen sich beide bei der Rothglühhitze und das Kupfer wird durchlöchert. Noch auffallender zeigt sich dieses bei dem so höchst strengflüssigen Platin, denn dieses schmilzt mit allen Metallen, aufser Eisen, mit einigen sogar sehr leicht zusammen, und bildet nicht eben strengflüssige Legirungen, wobei jedoch das quantitative Verhältnifs sehr zu berücksichtigen ist[1].

Metalle werden nicht blofs durch andere Metalle, sondern auch durch sonstige Körper leichter flüssig, als sie es im reinen Zustande sind. So ist das Eisen im stärksten Ofenfeuer unschmelzbar, der Kohlenstoff macht aber den Stahl, und dieselbe Substanz nebst andern Beimischungen, als Phosphor, Silicium u. s. w. das Gufseisen schmelzbar. Hierauf beruhet der sogenannte *Zuschlag* oder *Flufs*, den man bei den Hohöfen anwendet, um die strengflüssigen Metalle zum Schmelzen zu bringen, wozu unter andern der hiervon benannte Flufsspath gehört. Beim Löthen mit sogenanntem hartem Lothe (Zink und Kupfer) oder mit Silber bedient man sich des Borax, um das Fliefsen der Metalle herbeizuführen, und selbst beim leichtflüssigen Schnellloth (Blei und Zinn, oder reines Zinn) wenden die Blecharbeiter Kolophonium zu diesem Zwecke an. Die reinen Erden sind für sich im stärksten Essenfeuer unschmelzbar, allein die Kieselerde schmilzt mit Thonerde zusammen, mit Kalk läfst sie sich in Flufs bringen und mit Kali oder Natron vereint schmilzt sie sogar in der Flamme der Glasbläser. Guyton de Morveau[2] stellte eigene Versuche an, um diesen Einflufs näher zu ermitteln, welchen die Erden rücksichtlich ihrer Schmelzbarkeit auf einander ausüben, und fand, dafs die an sich unschmelzbaren durch ihre Verbindung schmelzbar werden.

Aus allen diesen und vielen andern Erfahrungen geht also hervor, dafs vereinte Substanzen leichter schmelzen, als ihre einzelnen Bestandtheile, und es zeigt sich dieses so allgemein, dafs ein Naturgesetz dabei zum Grunde liegen mufs. Inzwi-

1 Hierher kann auch das leichte Verbrennen des Eisens durch Schwefel gerechnet werden. Mit einer Schwefelstange durchbohrt man leicht ein glühendes Eisenblech. Vergl. §. 135. Anm.

2 Journ. de l'École polyt. Cah. II. p. 194. III. p. 298. Ann. de Chim. T. XXIX. p. 320.

schen ist ein solches bis jetzt nicht aufgefunden worden, weil wir zwar die Repulsivkraft der Wärme im Allgemeinen kennen, jedoch keineswegs in ihren verschiedenen Modificationen und Beziehungen auf die ungleiche Materie so genau, dafs wir anzugeben vermöchten, inwiefern dieselbe durch die ohnehin nur oberflächlich bekannten Eigenschaften der Körpermoleciüle verstärkt oder geschwächt wird. Aufserdem aber sind die Thatsachen nur im Allgemeinen, keineswegs aber im Einzelnen so bekannt, dafs wir wüfsten, welche Körper und in welchen quantitativen Verhältnissen sie die Schmelzpuncte um bestimmte Wärmegrade herabbringen. Endlich aber ist die Regel nicht allgemein, vielmehr macht namentlich abermals der Schwefel eine Ausnahme, sofern er selbst leichtflüssig ist, aber mit Metallen, selbst den leichtflüssigen, verbunden sehr unschmelzbare Erze bildet.

Als allgemeines Gesetz hinsichtlich der Schmelzbarkeit einfacher Körper stellt Joh. Cloud[1] den Satz auf, dafs namentlich bei den Metallen die Cohäsion ihrer Theile aufgehoben werde und die Temperaturen, in welchen sie schmelzen, daher ihrer Cohäsion und ihrem specifischen Gewichte proportional sein müssen. Die Proportion zwischen Zinn und Gold giebt dann in Graden nach Fahrenheit:

$$36{,}630 \times 7{,}299 : 442 = 150{,}735 \times 19{,}361 : x,$$

also den Schmelzpunct des Goldes $= 5103°$ F. Hiernach wären für die übrigen Metalle:

| Metalle | Cohäsion | specif. Gewicht | Schmelzpuncte F. | Schmelzpuncte C. |
|---|---|---|---|---|
| Eisen . . . | 549,250 | 7,788 | 7480° | 4137 |
| Kupfer . . | 302,278 | 8,667 | 4581 | 2527 |
| Platin . . . | 274,320 | 23,543 | 11293 | 6257 |
| Silber . . . | 187,137 | 10,510 | 3439 | 1892 |
| Gold . . . . | 150,753 | 19,361 | 5103 | 2817 |
| Zink . . . . | 109,540 | 6,861 | 1314 | 712 |
| Zinn . . . . | 34,630 | 7,299 | 442 | 228 |
| Blei . . . . | 27,621 | 11,352 | 548 | 287 |

Schon die theoretische Begründung des aufgestellten Satzes dürfte grofsen Schwierigkeiten unterliegen, allein die Erfahrung dient keineswegs zu seiner Bestätigung; denn die gefundenen

1 Trans. of the Amer. Philos. Soc. held at Philad. New Ser. T. 1. p. 120.

Gröſsen weichen allzusehr, selbst bei sehr bekannten Metallen, als Blei und Zink, von den Resultaten anderer Messungen ab, als daſs man hoffen dürfte, auf diesem Wege die anderweitig schwer zu bestimmenden Schmelzpuncte genau ermitteln zu können.

511) Was bei denjenigen Körpern häufig beobachtet wird, die in tieferen Temperaturen schmelzen, zeigt sich auch bei solchen, die höhere Wärme hierzu erfordern, bis zu den allerstrengflüssigsten und unschmelzbaren, woraus sich ergiebt, daſs rücksichtlich dieses Verhaltens keine eigentliche Grenzscheidung der Temperaturen statt findet, durch welche die eine Classe der Körper von der andern wesentlich geschieden würde. So wie beim Gefrieren des Wassers Wärme entbunden wird, geschieht dieses auch beim Gestehen der Körper in höheren Temperaturen (§. 457 u. 458), und selbst der Schwefel zeigt durch die ungleichen Zeiten seines Erkaltens nach den Messungen von Marx[1] ein solches Freiwerden der Wärme in den verschiedenen Stadien seiner wechselnden Flüssigkeit; beim Krystallisiren desselben wird aber so viel Wärme entbunden, daſs das Thermometer, wenn das Festwerden beginnt, um 10° C. wieder steigt und bis zur beendigten Erstarrung auf diesem Puncte verharret, ein Verhalten, welches dem des Wassers gleich kommt, bei andern Substanzen gleichfalls statt finden mag und die Bestimmung der Schmelzpuncte bedeutend erschwert. Eine ähnliche Erscheinung gewahrte Crichton[2] beim geschmolzenen Zinn, indem ein in dasselbe eingesenktes Thermometer bis 226°,1 C. herabsank, dann bis 227°,78 C. stieg und bei diesem Stande blieb, bis das Metall gestanden war. Erman[3] beobachtete den Stillstand der Temperatur nicht bloſs beim Rose'schen Metalle, sondern auch beim Zinn und Wismuth, und benutzte dieses zur Bestimmung des Schmelzpunctes derselben. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daſs weitere Beobachtungen, die nur bis jetzt wegen der Unsicherheit der thermometrischen Apparate oder der Schwierigkeit ihrer Behandlung nicht füglich zu erhalten waren, bei verschiedenen andern, selbst den strengflüssigsten, Körpern ein ähnliches Verhalten geben

1 Schweigger's Journ. LX. 1.
2 Philos. Magaz. 1803. März.
3 Poggendorff's Ann. XX. 282.

würden. Auf gleiche Weise ferner, als manche unter 0° C. gefrierende Körper (vergl. §. 498), namentlich das Wasser, sich beim Gestehen ausdehnen, andere dagegen sich fortdauernd zusammenziehen, z. B. das Oel (§. 506), ist dieses auch bei den strengflüssigern Körpern der Fall. Inzwischen herrschen hierüber noch viele unrichtige Meinungen, denn oft sieht man die erstarrten Massen, namentlich der Metalle, auf den geschmolzenen schwimmen[1] und betrachtet dieses als eine Folge der Ausdehnung beim Gestehen, obgleich es nicht selten von Blasenräumen herrührt, die sich beim Erkalten bilden. So glaubte man, das Eisen dehne sich beim Gestehen aus, allein nach Karsten[2] ist seine Zusammenziehung ganz entschieden, weswegen bei der Gröfse der Formen hierauf Rücksicht genommen wird und man dieselben um so viel gröfser macht, als nach dem Kunstausdrucke das *Schwindemafs* beträgt. Vom Zink wird gleichfalls behauptet, es dehne sich beim Gestehen aus, allein die gemeinsten Erfahrungen ergeben, dafs es sich vielmehr beim Erkalten in den Formen zusammenzieht. Eben dieses ist der Fall beim Blei, weswegen gegossene Kugeln zuweilen dicht unter dem Eingufszapfen ein Loch haben. Das Wismuth dagegen dehnt sich nicht blofs selbst aus, sondern theilt auch diese Eigenschaft den Legirungen mit. Nach Marx[3] beträgt die Gröfse der Ausdehnung $\frac{1}{33}$ des Volumens beim reinen Metall und wird so viel geringer, je gröfser die Quantität der zugesetzten Metalle ist. Auch dem Schwefel wird die Eigenschaft des Ausdehnens beim Gestehen zugeschrieben. Ob etwas der Art dann statt findet, wenn er bei höheren Wärmegraden als dickflüssigere Masse schnell erkaltet, ist vielleicht noch fraglich, mit Sicherheit kann aber behauptet werden, dafs er aus dem gewöhnlichen Flüssigkeitszustande erstarrend sich merklich zusammenzieht[4]; denn dieses zeigt sich, wenn man ihn in Glasröhren zu Stangen giefst, die allezeit in der Mitte eine Vertiefung erhalten und nie die Röhren, wenn nicht durch

---

1 Nach Persoz (in Bibl. univ. 1840, Mai) schwimmt auch das erstarrte Silber auf dem geschmolzenen.

2 Handbuch der Eisenhüttenkunde Bd. III. §. 1007.

3 Schweigger's Journ. LVIII. 454. Berzelius Jahresbericht Bd. XI. S. 134.

4 Vergl. Marx in Schweigger's Journ. LX. 1 ff.

die Erhitzung derselben, zersprengen, vielmehr sich leicht und mit glatter Oberfläche von ihren Wandungen ablösen. Die meisten über 0° C. gestehenden Körper, namentlich die Metalle, nehmen ein krystallinisches Gefüge an, wie das Eis; nur bei den Fetten und einigen andern Substanzen ist dieses nicht der Fall. Unter den Metallen zeigen einige, als Wismuth, Antimon und Zink, dem bloſsen Auge ein auffallendes krystallinisches Gefüge, sichtbar ist dieses gleichfalls beim Guſseisen und dem Stahle, bei den andern Metallen weniger, weil, wie beim Eise, die Zwischenräume zwischen den anfangs gebildeten Krystallen durch flüssige, später gestehende Massen ausgefüllt werden und daher der Bruch nicht mehr deutliche Kennzeichen der Krystallisation enthält. Da aber das so ausnehmend dichte Quecksilber bei den ersten Versuchen (§. 504), dasselbe zum Gefrieren zu bringen, sich krystallinisch zeigte und Mussin-Puschkin[1] beim Golde deutliche Krystalle wahrnahm, so dürfen wir schlieſsen, daſs allen Metallen diese Eigenthümlichkeit zukommt. Man gewahrt dieses am besten, wenn man den Augenblick benutzt, in welchem die geschmolzenen Metalle nur zum Theil erstarret sind, dann die feste Hülle durchstöſst und den noch flüssigen Theil ablaufen läſst, wo sich dann im Innern eigentliche Krystalle oder krystallinisches Gefüge zeigt[2]. Endlich giebt es Körper, welche bei den tiefsten Graden der Kälte bis zu den höchsten Graden der Hitze, wenn nicht gleichzeitig ein ungewöhnlicher äuſserer Druck statt findet, aus dem Zustande der Festigkeit nicht zur tropfbaren Flüssigkeit, sondern zur Expansion übergehen. Wir können die Kohlensäure, obgleich sie aus der Gasform erst flüssig gemacht und dann fest wird, als einen solchen Körper betrachten, nicht minder das Chlor, das Iod[3] und andere, und ebenso werden verschiedene animalische

---

1 Trommsdorff's Handbuch der gesammten Chemie. Erf. 1800 ff. Bd. IV. S. 4.

2 In den Handbüchern der Chemie wird bei jedem Metalle die Krystallform angegeben, wobei sich von selbst versteht, daſs die Beobachtung der Krystallisation bei denjenigen Metallen nicht bloſs schwierig, sondern im eigentlichen Sinne unmöglich ist, die sich rein gar nicht flüssig darstellen lassen, oder in solcher Hitze, wobei diese Beobachtung wegfallen muſs.

3 Das Iod schmilzt nach Gay-Lussac bei 107° C., wenn man es aber in einer verschlossenen Röhre erhitzt, so steigt es sofort als violetter Dampf auf.

und vegetabilische Substanzen, aufser die Fette, durch Hitze nicht tropfbar-flüssig, sondern sofort gasförmig. Merkwürdig ist dabei, dafs die Metalle, unter denen man hierzu meistens Stahl, Gold und Platin wählt, durch einen starken Batteriefunken unmittelbar aus der Festigkeit in Dampf verwandelt werden.

512) Zur Angabe der einzelnen Schmelzpuncte eignet sich eine tabellarische Zusammenstellung am meisten, und diese folgt daher, soweit die Bestimmungen bis jetzt mehr oder weniger genau bekannt sind. Bei solchen Körpern, welche Glühhitze zum Flüssigwerden erfordern, sind die Angaben wegen der Unzuverlässigkeit oder eigentlichen Unrichtigkeit der bis jetzt in Anwendung gebrachten pyrometrischen Mittel am wenigsten sicher. Zwar widersteht kein bekannter Körper der enormen Hitze des *Knallgasgebläses*, und würde dieses sicher dann nicht thun, wenn man eine dicke Flamme dieses Gebläses anzuwenden vermöchte, allein manche Körper schmelzen hierdurch nicht, sondern sie verbrennen, wie namentlich Eisen und Platin, obwohl letzteres sich mit einigem Verluste in Folge der Verbrennung durch dieses Mittel zusammenschmelzen läfst, andere werden zwar flüssig, aber man vermag die dadurch erzeugte Hitze nicht zu messen und die Schmelzpuncte der dadurch flüssig gewordenen Körper bleiben daher unbekannt.

Unter den Körpern, die rücksichtlich ihrer Schmelzbarkeit die Aufmerksamkeit vorzugsweise in Anspruch genommen haben, verdient das Platin zuerst genannt zu werden, da es in jeder andern Beziehung so vortrefflich ist und sein Werth eben dadurch noch bedeutend erhöhet wird, dafs es den stärksten Graden der Hitze widersteht, ohne wie das Eisen zu rosten, zugleich aber wegen dieser seiner Strengflüssigkeit nicht in diejenigen Formen gebracht werden kann, die zum verlangten Gebrauche erforderlich sind. Inzwischen hat Wollaston[1] ein Mittel angegeben, dieses Hindernifs zu beseitigen. Zu diesem Ende mufs man das Platin in verdünntem Königswasser langsam mit allmälig verstärkter Hitze auflösen, um die Mitauflösung des Iridiums zu verhindern, und warten, bis das feine Iridiumpulver sich abgesetzt hat. Die Auflösung wird durch Salmiak niedergeschlagen, der Niederschlag gewaschen und ge-

1 Philos. Magaz. and Ann. T. V. p. 65. Poggendorff's Ann. XV. 299.

preſst und dann sorgfältig erhitzt, um den Salmiak zu verflüchtigen. Die so erhaltene Masse wird mit den Händen und demnächst mit einem hölzernen Pistill in einem hölzernen Mörser zerrieben, damit die Theilchen durch eine härtere Substanz nicht eine polirte Oberfläche erhalten, die das Zusammenschweiſsen in der Hitze verhindern würde. Endlich wird die Masse nochmals gewaschen; man erhält dann, nachdem das Wasser abgegossen worden ist, um etwa vorhandene Unreinigkeiten zu entfernen, ein graues, schlammiges Pulver, welches man in eine messingne, nach unten etwas verjüngte Form bringt und zuerst mit einem hölzernen Stempel und Hammer, dann aber mit einem eisernen Stempel unter einer starken, am besten hydraulischen, Presse zusammendrückt. Durch dieses Verfahren gewinnt man einen metallischen Zain, welchen man zuerst über einem Kohlenfeuer ausglüht, dann der stärksten Hitze aussetzt und mit einem schweren Hammer schlägt. Das so dargestellte Metall läſst sich dann durch Treiben in beliebige Formen bringen.

Gleich strengflüssig ist das *Iridium*, doch schmolz Children mit seiner Volta'schen Riesensäule kleine Stückchen desselben zu Kugeln; mit dem Knallgasgebläse bewirkte zwar Berzelius die Schmelzung, allein das Metall senkte sich in den flüssig gewordenen Thon, der zur Unterlage diente, unverändert hinab. Dagegen gelangte Bunsen[1] zur vollständigen Schmelzung desselben, indem er sich einer Kohle zur Unterlage bediente und das mächtige Knallgasgebläse anwandte, welches Döbler für sein *Cary'sches Mikroskop*[2] benutzt. Andere strengflüssige Metalle lieſsen sich durch die enorme Hitze dieses Gebläses gleichfalls wohl zum Schmelzen bringen, wenn sie sich nicht, wie z. B. das Magnium, zu schnell oxydirten, weswegen sie verbrannten, aber nicht schmolzen. So verbrennt auch der Kohlenstoff als Diamant und sonst als reine Kohle, ohne zu schmelzen; durch erdige und metallische Beimischungen dagegen, wie im Graphit, wird er schmelzbar, und verwandelt sich im Knallgasgebläse in eine mehr oder weniger durchsichtige Glasperle. Inzwischen

---

1 Poggendorff's Ann. XLI. 207.

2 Dieses Mikroskop, meistens *Knallgasgebläse-Mikroskop* genannt, gleicht einem Sonnenmikroskope, jedoch geschieht die Beleuchtung nicht durch die Sonne, sondern durch eigens bereitete Kreidekugeln, gegen welche der Strom des Knallgasgebläses gerichtet ist.

behauptet SILLIMAN[1] wo nicht eine Schmelzung, doch eine Verflüchtigung der Kohle bewirkt zu haben. Als er bei Anwendung eines mächtigen Hare'schen Deflagrators den Versuch mit den Kohlenspitzen anstellte, bemerkte er an der Kohle des negativen Rheophors eine Verminderung; es war eine kleine Vertiefung entstanden und an der Spitze des positiven war eine Art Schmelzung sichtbar, wonach also ein Theil von der erstern zur letztern in Dampfform übergegangen und an dem letztern festgeschmolzen seyn müſste. Das Schmiedeeisen ist gleichfalls unschmelzbar und wird zwar im Knallgasgebläse flüssig, denn es nimmt die Kugelform an, verbindet sich dabei aber so schnell mit dem Sauerstoff, daſs man es eigentlicher für verbrannt als für geschmolzen halten muſs.

513) Wie schon bemerkt, sind die Bestimmungen der Schmelzpuncte höchst strengflüssiger Körper sehr unsicher, und die mittelst des Wedgwood'schen Pyrometers gefundenen, obgleich sie lange Zeit als genau galten, haben gegenwärtig ihren Credit gänzlich verloren. Es würde daher nicht der Mühe werth seyn, sie auf Centesimalgrade zu reduciren, auch scheint es mir geeigneter, sie für sich hier bloſs voranzustellen[2], weil daraus mindestens die relative Schmelzbarkeit hervorgeht.

| Substanzen. | Scale nach Wedgwood | Scale nach Fahrenheit |
|---|---|---|
| Grenze von Wedgwood's Scale . | 240° | 32277° |
| Gröſste Hitze eines Porcellanofens, worin ächtes Nanking-Porcellan nicht schmolz . . . . . . | 160 | 21877 |
| Chinesisches Porcellan, beste Sorte, erweicht . . . . . . . . . | 156 | 21357 |
| Guſseisen schmilzt gänzlich . . | 150 | 20577 |
| Hessischer Tiegel schmilzt . . . | 150 | 20577 |
| Bristol-Porcellan schmilzt nicht völlig | 135 | 18627 |
| Guſseisen beginnt zu schmelzen . | 130 | 17977 |
| Gröſste Hitze einer Schmiedeesse . | 125 | 17327 |
| Stärkste Hitze eines Tafelglas-Ofens | 124 | 17197 |

1 Amer. Journ. of Sc. and Arts. T. V. p. 108. Edinburgh Philos. Journ. N. XV. S. 187.

2 Man findet sie in Philos. Trans. T. LXXIV. J. 1784. p. 370, in MURRAY System of Chemistry und daraus in HERSCHEL Art. *Heat* in Encyclop. metrop. p. 332.

| Substanzen. | Scale nach Wedgwood | Fahrenheit |
|---|---|---|
| Porcellan (*Bow porcelain*) verglaset | 121° | 16807° |
| Chinesisches Porcellan, schlechteste Sorte, erweicht . . . . . . . | 120 | 16677 |
| Stärkste Hitze eines Flintglas-Ofens | 114 | 15897 |
| Porcellan von Derby verglaset . . | 112 | 15637 |
| Steingut sintert zusammen . . . | 102 | 14337 |
| Schweiſshitze des Eisens, stärkste . | 95 | 13427 |
| — — — schwächste | 90 | 12777 |
| Erdenwaare erweicht . . . . . . | 86 | 12257 |
| Schwächste Hitze eines Flintglas-Ofens | 70 | 10177 |
| Werkofen-Hitze für Tafelglas . . | 57 | 8487 |
| Holländisches Steingut erweicht . | 41 | 6407 |
| Feines Gold schmilzt . . . . . . | 32 | 5237 |
| Arbeitsofen für Flintglas . . . . | 29 | 4847 |
| Feines Silber schmilzt . . . . | 28 | 4717 |
| Schwedisches Kupfer schmilzt . . | 27 | 4587 |
| Messing schmilzt . . . . . . . | 21 | 3807 |
| Hitze zum Einbrennen des Email . | 6 | 1857 |
| Rothglühen bei Tage sichtbar . . | 0 | 1077 |

Ungleich genauer und daher auch weit sicherer sind diejenigen Bestimmungen, welche Daniell[1] mittelst seines Pyrometers erhalten hat, die jedoch auf die jetzt erreichbare Genauigkeit gleichfalls keine genügenden Ansprüche machen können.

| Metalle | Schmelzpuncte nach Daniell: Daniell's Scale | Fahrenheit | Celsius |
|---|---|---|---|
| Guſseisen . . . | 497° | 3479° | 1915 |
| Gold . . . . . . | 370 | 2590 | 1421 |
| Kupfer . . . . | 364 | 2548 | 1398 |
| Silber . . . . . . | 319 | 2233 | 1222 |
| Messing . . . . | 267 | 1869 | 1015 |
| Zink . . . . . . | 94 | 648 | 342 |
| Blei . . . . . . | 87 | 609 | 320 |
| Wismuth . . . | 66 | 462 | 239 |
| Zinn . . . . . . | 63 | 441 | 227 |
| Quecksilber siedet . | 92 | 644 | 340 |

1 Journal of Sciences N. XXII. p. 309. Philos. Trans. 1830 und 1831. Philos. Mag. Ser. II. T. X. p. 191. 268. 350. Ser. III. T. I. p. 197.

Bei weitem die genauesten und jetzt allein als gültig zu betrachtenden Bestimmungen der höchsten Schmelpuncte und Hitzegrade sind diejenigen, welche Pouillet[1] mittelst seines Pyroters gefunden hat, die nicht bloſs die Schmelzpuncte einiger Metalle, sondern auch sonstige sehr hohe Hitzegrade enthalten. Sie sind folgende in Centesimalgraden, können jedoch nur als annähernd genau gelten, da die Unterschiede, mit Ausnahme von zwei Bestimmungen, 100 Grade betragen.

| Schmelzpuncte und Glühen. | Hitze |
|---|---|
| Eisen . . . . . . . . . . . . . | 1600° C. 1500 |
| Stahl, der am schwersten schmelzbare . | 1400 |
| — der am leichtesten schmelzbare . | 1300 |
| Graues Guſseisen, schwer schmelzbar . | 1200 |
| — — leicht schmelzbar . . | 1100 |
| Weiſses Guſseisen, schwer schmelzbar . | 1100 |
| — — leicht schmelzbar . | 1050 |
| Gold . . . . . . . . . . . . . . | 1200 |
| Silber . . . . . . . . . . . . . | 1000 |
| Blendendes Weiſsglühn . . . . . | 1600 1500 |
| Helles Weiſsglühn . . . . . . . . | 1400 |
| Weiſsglühn . . . . . . . . . . . | 1300 |
| Helles Orangeglühn . . . . . . . . | 1200 |
| Dunkles Orangeglühn . . . . . . . | 1100 |
| Helles Kirschrothglühn . . . . . . | 1000 |
| Kirschrothglühn . . . . . . . . . | 900 |
| Anfangendes Kirschrothglühn . . . . | 800 |
| Dunkles Rothglühn . . . . . . . . | 700 |
| Anfangendes Rothglühn . . . . . | 525 |

Für eine Menge Körper sind die Schmelzpuncte mit gröſserer oder geringerer Genauigkeit bekannt. Die hierüber gangbaren Bestimmungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, wobei die zugleich genannten Beobachter einen ungefähren Anhaltpunct der Richtigkeit und Genauigkeit abgeben. Nehmen wir dann Pouillet's Bestimmung für Eisen als mindestens sehr genähert an, so können wir die Schmelzpuncte aller derjenigen Körper, die nur im stärksten Essenfeuer flüssig werden, zwischen 1500 und 1600 setzen; nach bloſser Schätz-

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1014.

ung dürfte dann, wenn man den Lichtglanz der Glühhitze als ungefähren Maſsstab annimmt, der Schmelzpunct derjenigen Körper, die im Knallgasgebläse oder im Strome der Volta'schen Säule flüssig werden, auf 1800° C. zu setzen seyn. Bei den angegebenen Schmelzpuncten ist daher zu berücksichtigen, daſs eben die sehr hohen nur für genähert zu halten sind, da selbst Pouillet die von ihm gefundenen, hierbei zu Grunde liegenden, für nichts anderes ausgiebt.

| Körper. | Schmelzpunct | Beobachter. |
|---|---|---|
| Kohle? . . . . . | 1800° C. | Silliman |
| Boron? . . . . . | 1800 | |
| Strontian[1]? . . . | 1800 | |
| Yttererde? . . . . | 1800 | |
| Osmium . . . . . | 1800 | |
| Strontium . . . . | 1800 | Davy |
| Baryum . . . . . | 1800 | Clarke |
| Iridium . . . . . | 1800 | Bunsen |
| Uran . . . . . . | 1800 | Clarke |
| Titan . . . . . . | 1800 | Clarke |
| Magniumoxyd . . . | 1800 | Clarke |
| Cerium . . . . . | 1800 | Clarke |
| Kalk[2] . . . . . . | 1800 | Clarke |
| Rhodium . . . . . | 1750 | Clarke |
| Titanoxyd (Rutil) . | 1750 | Pfaff |
| Alaunerde . . . . | 1700 | Stromeyer |
| Kieselerde . . . . | 1700 | Clarke |
| Zirkonerde . . . . | 1700 | Clarke |
| Zirkonerde mit etwas Kali | 1500 | Berzelius |
| Tantalerde . . . . | 1600 | Berzelius |
| Süſserde . . . . | 1600 | Davy |
| Platin . . . . . . | 1700 | Clarke |
| Palladium . . . . | 1700 | Vauquelin |
| Eisen . . . . . . | 6346 | Morveau |
| | 1600 | Pouillet |

1 Wenn Buchholz ätzenden Baryt und kaustischen Strontian in der Rothglühhitze geschmolzen haben will, so waren dieses Hydrate. S. Gehlen's Journ. Bd. IV. S. 258 u. 661.

2 Hall und Buchholz wollen kohlensauren Kalk in einem Tiegel unter nicht starkem Drucke geschmolzen haben. Gehlen's Journ. Bd. I. S. 271. Unreiner Kalk erleidet allerdings im Kalkofen eine Schmelzung, allein Kalkspath und selbst Kreide schmilzt nur unvollkommen oder sehr schwer im Knallgasgebläse, mit Kieselerde dagegen leicht.

| Körper | Schmelz-punct | Beobachter |
|---|---|---|
| Kobalt . . . . . | 1500° C. | |
| Nickel . . . . . | 1500 | Richter |
| Scheel . . . . . | 1500 | Buchholz |
| Molybdän . . . . | 1500 | Buchholz |
| Chrom . . . . . | 1500 | Vauquelin |
| Mangan . . . . . | 1500 | John |
| Stahl . . . . . | 1400<br>1300 | Pouillet |
| Gold . . . . . | 1200 | Pouillet |
| Gufseisen, graues . | 1200<br>1100 | Pouillet |
| weifses . | 1100<br>1050 | Pouillet |
| Kupfer . . . . . | 1050 | |
| Silber . . . . . | 1000 | Pouillet |
| Cadmium . . . . | 500 | Stromeyer |
| Antimon . . . . | 513 | Guyton-Morveau |
| | 432 | Dalton |
| Tellur . . . . . | 400 | Klaproth[1] |
| Hitze eines gewöhnlichen Feuers . . | 400 | Irvine |
| Zink schmilzt . . . | 371 | Murray |
| | 374 | Guyton-Morveau |
| Blei . . . . . | 310 | Irvine |
| | 312 | Guyton-Morveau |
| | 262 | Biot |
| Wismuth . . . . | 265 | Erman |
| | 247 | Irvine |
| | 249 | Crichton |
| Zinn . . . . . | 267 | Guyton-Morveau |
| | 228 | Crichton |
| | 223 | Erman |
| Schnell-Loth (4 Th. Blei, 6 Th. Zinn)[2] | 169 | Prechtl |
| Rose'sches Metall (8 Th. Wism., 8 Th. Blei, 3 Th. Zinn)[3] | 95 | Prechtl |
| Rose'sches Metall . . | 94 | Erman |
| Schwefel . . . . | 111 | Mitscherlich |

1 Die Bestimmung heifst: leichter als Antimon, schwerer als Blei.

2 Alle andere Mischungen dieser beiden Metalle schmelzen erst bei höheren Temperaturen.

3 Auch diese Mischung ist unter allen die leichtflüssigste.

| Körper | Schmelz-punct | Beobachter |
|---|---|---|
| Schwefel . . . . | 108° C. | Dumas |
| | 108 | Dalton |
| | 104 | Berzelius |
| Iod . . . . . . | 107 | Gay-Lussac |
| Selen . . . . . . | 102 | Berzelius |
| Natrium . . . . | 90 | Gay-Lussac u. Thénard |
| Kalium . . . . . | 58 | Gay-Lussac u. Thénard |
| Campfer . . . . | 175 | Gay-Lussac |
| Wachs . . . . . . | 61,5 | |
| Spermaceti . . . . | 56,1 | |
| Phosphor . . . . | 42,8 | Thénard |
| | 37,8 | Murray |
| | 40,0 | Plac. Heinrich |
| Stearin . . . . . | 21,3 | Bellani |
| vom Hammel schmilzt | 61,0 | Braconnot |
| gesteht | 44,0 | Chevreul |
| vom Ochsen schmilzt | 57,5 | Braconnot |
| Talgsäure . . . . | 75,0 | Chevreul |
| Margarinsäure . . . | 60,0 | Chevreul |
| Margarinfett . . . | 49,0 | Chevreul |
| Hammeltalg . . . | 40,0 | Braconnot |
| Rindstalg . . . . | 40,0 | Braconnot |
| Schweineschmalz . . | 40,5 | Vogel |
| | 31,0 | Chevreul |
| Gänse- und Entenschmalz | 25,0 | Braconnot |
| Cetine . . . . . | 49,0 | Chevreul |
| Wallrath . . . . | 45,0 | Chevreul |
| Butter . . . . . . | 32,0 | Chevreul |
| Olivenöl . . unter | 10,0 | Schübler |
| | 5,3 | Bellani |
| Rübsamenöl, beginnende Erstarrung . . . | 1,0 | |
| Süſsmandelöl . . . | — 21,0 | Schübler |
| feines . | — 9,0 | Ross |
| Mohnöl und Nuſsöl[1] gefriert | — 20 | Schübler |
| schmilzt | — 3 | Schübler |

1 Die fetten Oele und Fette erleiden durch Kälte eine Zersetzung, indem leichter *gestehende* (nicht eigentlich gefrierende) Bestandtheile derselben abgeschieden werden und erhärten, die eine Verdickung herbeiführen und in steigender Wärme nicht leicht wieder zerflieſsen, weswegen die Bestimmungen der Gefrier- oder Schmelzpuncte, insbesondere wenn man die wechselnden Mischungsverhältnisse berücksichtigt, schwer bestimmbar sind.

| Körper | Schmelzpunct | Beobachter |
|---|---|---|
| Oelsäure . . . . | — 3° C. | Chevreul |
| Terpentinöl, rectif. unter | — 27 | Marqueron |
| Sassafrasöl . . . . | — 30,6 | Parry |
| Wasserhyperoxyd unter | — 30,0 | Thénard |
| Salzwasser (spec. Gew. 1,02) | — 1,5 | Erman |
| (spec. Gew. 1,01) | — 0,63 | Erman |
| Seewasser (spec. Gew. 1,027) | — 2,55 | Despretz |
| | — 2,88 | Erman |
| | — 5,00 | Parrot |
| Salzwasser (Wasser mit 0,008 Salz) . . . | — 1,21 | Despretz |
| Essigsäure, Eisessig . | 22,5 | Mollerat |
| | 16,0 | Lowitz |
| | 21,3 | Bellani |
| Essig, nach dem Grade der Concentration bei gröfserer Kälte . . | — 2,0<br>— 30,0 | |
| Schwefelsäure [1], concentrirte | — 40 | Parry |
| mit 0,5 Wasser verd. | — 34,5 | Parry |
| Schwefelsäure . . . | 19 | Vogel |
| | 25 | Bussy |
| doppelt gewässerte (spec. Gew. 1,78) | 7,5 | Dalton |
| Nordhäuser Vitriolöl . | 2 | Bussy |
| Gemeine Schwefelsäure (spec. Gew. 1,845) | — 25 | |
| Sächsisches Vitriolöl | 0 | Bellani |
| (spec. Gew. 1,84) | 11,3 | Bellani |
| verd. (spec. Gew. 1,78) | 8,0 | Bellani |
| Schwefelsäure, englische verd. (spec. Gew. 1,78) | 5,25 | Berzelius |
| Hydrothionsäure . unter | — 17,8 | Faraday |
| Schweflige Säure . | — 78,9 | Mitchell |
| Salpetersäure, concentr. | — 45,5 | Parry |
| | — 54,0 | Fourcroy u. Vauquelin |
| verd. (spec. Gew. 1,26) | — 28,9 | Parry |
| — (spec. Gew. 1,3) | — 19,0 | Dalton |

1 Die Schmelzpuncte der Schwefelsäure werden von unverwerflichen Autoritäten so verschieden angegeben, dafs die Bestimmungen unmöglich von den nämlichen Substanzen gelten können. Die Aufgabe verdiente eine genaue Revision.

| Körper | Schmelz-punct | Beobachter |
|---|---|---|
| Brom . . . . . . | — 25° C. | Liebig |
| Salzsäure . . . unter | — 40 | |
| Chlorstickstoff . unter | — 40 | Porret |
| Chlorkohlenstoff . unter | — 18 | Faraday |
| Chlorcyan . . . . | — 10 | Gay-Lussac |
| Chlorzinn . . . . | — 45 | Parry |
| Chlorphosphor . . | — 44 | Parry |
| Schwefelblausäure . | — 12,5 | Porret |
| Blausäure . . . . | — 15,0 | Gay-Lussac |
| Quecksilber . . . | — 37,5 | Kraft u. Euler |
| | — 35,0 | Ross |
| | — 39,0 | Ross |
| | — 39,45 | Hutchins |
| | — 40,5 | Pouillet |
| Ammoniak . . . . | — 49,0 | Fourcroy u. Vauquelin |
| | — 47,8 | Guyton-Morveau |
| Schwefelkohlenstoff unter | — 45 | Parry |
| unter | — 52 | Gay-Lussac |
| Salpeteräther . . . | — 52 | Parry |
| Schwefeläther . unter | — 98,9 | Mitchell |
| Alkohol . . . unter | —100 | Thilorier |

## 3) Dampfbildung, Verdunstung, Sieden.

Eine dritte, sehr wichtige Wirkung der Wärme ist die Dampfbildung. Was man unter *Dampf* zu verstehen habe und inwiefern sich derselbe von den Gasen unterscheiden lasse, ist bereits [1] angegeben worden, und so wie man den Flüssigkeitszustand

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 282. Es wurde oben Bd. II. S. 644 der Unterschied zwischen *Dampf* und *Dunst* so festgesetzt, daſs Dampf die völlig durchsichtige, Dunst die nicht völlig durchsichtige elastische Flüssigkeit bezeichne. Manche geben der umgekehrten Bezeichnungsart den Vorzug, und August in Poggendorff's Ann. XIII. 122 findet ein Argument hierfür in dem Umstande, daſs niemand *Ausdampfung* statt *Ausdünstung* sage. Diesem Argumente lieſse sich entgegensetzen, daſs ebenso wenig jemand Dunstkanone, Dunstschifffahrt und Dunstwagen sagen würde, was doch geschehen müſste, wenn man den Wasserdampf, dessen Elasticität hierbei das bewegende Mittel ist, Dunst nennen wollte. Ursprünglich hieſsen die wegen ihrer Leichtigkeit schwebenden, eigentlich nicht völlig expandirten Stoffe, die sich als Wolken, Nebel, Höhrauch u. s. w. zeigen, Dünste, und insbesondere spielten die schwefligen und öligen Dünste eine groſse Rolle, die zugleich auch

der Körper als eine Folge der Auflösung ihrer Molecüle in Wärmestoff betrachten kann, darf dieses auch von den Dämpfen angenommen werden. In der Regel sind es Flüssigkeiten, womit sich der Wärmestoff verbindet und die er dadurch in Dampf verwandelt, welche Wirkung mit solcher Intensität statt findet, dafs die Temperatur der Oberfläche durch Abgabe ihrer Wärme merklich unter die der angrenzenden Lagen herabgeht; inzwischen zeigt sich die Geneigtheit der Wärme zur Dampfbildung auch dadurch, dafs sogar die Molecüle fester Körper in den Zustand der Expansion versetzt werden. Geschieht dieses entweder von selbst oder hauptsächlich mittelst künstlicher Vorrichtungen bei trocknen Körpern, wobei sich die verflüchtigten Theile dann, nach Abgabe ihrer Wärme, wieder an kältere Körper abzusetzen pflegen, so bezeichnet man dieses durch den Ausdruck *Sublimation*.

## a) Verdunstung.

514) Die Verwandlung der Körper in expansible oder elastische Flüssigkeiten findet im Allgemeinen statt, wenn die Wärme der Körper eine höhere Spannung hat, als die der Umgebung, der Wärmestoff sich daher von diesen Körpern losreifst und einen Theil ihrer Molecüle in Folge seiner Adhäsion zu denselben mit sich fortführt. Dieser Procefs mufs um so

---

dann vorhanden seyn konnten, wenn man sie nicht sah, also im Zustande völliger Expansion. Die aus Wasser und sonstigen siedenden Flüssigkeiten aufsteigenden Blasen nannte man *Luft* und hielt sie auch dafür. Allerdings heifst in einigen Gegenden des nördlichen Deutschlands in der niederdeutschen Volkssprache der Rauch des brennenden Holzes Dampf, was für August's Meinung entscheiden würde, allein in neueren Zeiten sind die Wortbedeutungen schärfer bestimmt worden. Hiernach haben wir die permanenten Gase und die Luft als eine specielle Verbindung; durch die vielfache technische Anwendung ist der Begriff des Wortes *Dampf* festgestellt worden, und hieraus ergiebt sich die Bedeutung des Wortes *Dunst* von selbst. Dafs im Sprachgebrauche noch die Ausdrücke: *Ausdünstung* und *Verdunstung*, welcher letztere schon durch den richtigern: *Verdampfung* verdrängt zu werden anfängt, beibehalten werden, kann nicht entscheiden, denn auf ähnliche Weise nennen wir auch Körper schwerer, was sie nicht seyn können, da sie vielmehr blofs von gröfserem Gewichte (gewichtiger) sind. Sonach ist der von mir gewählte Sprachgebrauch in Beziehung auf die gegenwärtig gangbaren Ausdrücke und deren Bedeutung wohl gerechtfertigt.

viel rascher vor sich gehn, je gröſser die vorhandene Menge des hierzu erforderlichen Wärmestoffs ist, und je geneigter die gegebenen Körper sind, den Zustand der Expansion anzunehmen, was durch das Verhältniſs der Anziehungskraft ihrer Molecüle unter sich und der Repulsivkraft ihrer Wärmemolecüle bedingt wird. Inwiefern hiermit das *Sieden* in nothwendiger Verbindung stehe, wird demnächst angegeben werden; zunächst beschränken wir uns hier auf diejenige Dampfbildung, welche bei Flüssigkeiten unter ihrem Siedepuncte statt findet und durch den speciellen Namen *Verdunstung* bezeichnet zu werden pflegt. Diesem wichtigen Probleme ist oben ein eigner Artikel gewidmet worden[1], und es wird daher genügen, hier nur noch einige Bemerkungen und zwar in nächster Beziehung auf den Einfluſs hinzuzufügen, welchen die Wärme auf die Verdunstung des Wassers ausübt[2]. Wie leicht die Wärme einen Theil des Wassers in Dampf verwandle und mit sich fortführe, geht schon daraus hervor, daſs die Verdampfung auch dann nicht aufhört, wenn das Wasser, mindestens seine Oberfläche, kälter ist, als die umgebende Luft, und schon Richmann[3] stellte eine Reihe von Versuchen an, wodurch er die Stärke der Verdunstung des Wassers von niedrigerer Temperatur als die der umgebenden Luft auszumitteln suchte. Hierbei kommt, wie kaum der Erwähnung bedarf, hauptsächlich die Begierde in Betrachtung, womit die nicht gesättigte Luft den gebildeten Wasserdampf in sich aufnimmt. Uebrigens wuſste Richmann sehr wohl, daſs die Dampfbildung eine Function der Wärme sey, und er bemühte sich daher, das Verhältniſs der Verdunstungsgröſse zum Unterschiede der Temperaturen des Wassers und der umgebenden Luft durch Versuche aufzufinden[4], wobei er jedoch zu keinem bestimmten Gesetze gelangte, weil zugleich die Trockenheit der Luft einen sehr bedeutenden Einfluſs ausübt. Dagegen suchte Flaugergues[5] die Wirkung der Wärme für sich allein zu ermitteln, indem er bei gleichem Barometerstande und gleicher hygrometrischer Beschaffenheit der ruhigen Zimmerluft in gleichmäſsiger Temperatur Wasser aus Gefäſsen

---

1 S. Art. *Verdunstung.* Bd. IX. S. 1720.

2 Vergl. ebendaselbst S. 1743.

3 Nov. Comm. Petrop. T. II. p. 145.

4 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 199.

5 Journ. de Phys. T LXX. p. 150.

von gleich grofser Oberfläche verdunsten liefs, die Zeiten und die Höhen der Verdunstung genau mafs und auf 24 Stunden reducirte. Nach der 80theiligen Scale gehörten zu 0° Temperatur 4,4 Lin. und zu 31° R. 72,2 Lin. eines durch Canivet in 1000 Theile getheilten Mafsstabes. Wurden die Thermometergrade als Abscissen, die Verdunstungshöhen als Ordinaten genommen, so bildete die durch die Endpuncte gezogene Linie eine logarithmische Curve. Es ist aber Log. 4,4 = 1,4816045 und Log. 72,2 = 4,2863414, und hiernach die Subtangente der Curve durch die Proportion

$$4{,}2863414 - 1{,}4816045 : 31 - 0 = 1 : \text{Subtang.}$$

gegeben, welches die Subtangente = 11,0527301 giebt. Für die Abscisse = x, die Ordinate = y und die Subtangente = S ist

$$S \partial y = y \partial x,$$

welches integrirt für x = 0 und y = 4,4

$$y = 4{,}4 . (2{,}7182818)^{\frac{x}{11{,}0527301}}$$

giebt. Die beobachteten und hiernach berechneten Werthe stellt Flaugergues in folgender Tabelle zusammen:

| Grade | beob-acht. | be-rechn. | Un-tersch. | Grade | beob-acht. | be-rechn. | Un-tersch. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° R. | 4,4 | 4,4 | 0,0 | 16 | 17,8 | 18,7 | + 0,9 |
| 1 | 4,5 | 4,8 | + 0,3 | 17 | 19,4 | 20,5 | + 1,1 |
| 2 | 4,4 | 5,3 | + 0,9 | 18 | 22,0 | 22,4 | + 0,4 |
| 3 | 5,9 | 5,8 | — 0,1 | 19 | 24,8 | 24,6 | — 0,2 |
| 4 | 6,8 | 6,3 | — 0,5 | 20 | 27,3 | 26,9 | — 0,4 |
| 5 | 7,3 | 6,9 | — 0,4 | 21 | 30,2 | 29,4 | — 0,8 |
| 6 | 7,4 | 7,6 | + 0,2 | 22 | 32,0 | 32,2 | + 0,2 |
| 7 | 8,0 | 8,3 | + 0,3 | 23 | 35,6 | 35,2 | — 0,4 |
| 8 | 9,6 | 9,1 | — 0,5 | 24 | 38,9 | 38,6 | — 0,3 |
| 9 | 10,3 | 9,9 | — 0,4 | 25 | 42,0 | 42,2 | + 0,2 |
| 10 | 10,0 | 10,9 | + 0,9 | 26 | 46,8 | 46,2 | — 0,6 |
| 11 | 10,9 | 11,4 | + 1,0 | 27 | 51,0 | 50,6 | — 0,4 |
| 12 | 13,2 | 13,0 | — 0,2 | 28 | 55,7 | 55,4 | — 0,3 |
| 13 | 14,0 | 14,3 | + 0,3 | 29 | 61,0 | 60,7 | — 0,3 |
| 14 | 15,9 | 15,6 | — 0,3 | 30 | 66,9 | 66,4 | — 0,5 |
| 15 | 16,4 | 17,1 | + 0,7 | 31 | 72,7 | 72,7 | 0,0 |

Es giebt aufserdem noch verschiedene Versuche, wodurch man die Stärke der Verdunstung durch höhere Wärmegrade auszu-

mitteln suchte, z. B. von HASSENFRATZ[1], sie können aber hier übergangen werden, da sie mehr der Dampferzeugung als der eigentlichen Verdunstung angehören.

515) Noch weit mühsamere Versuche stellte FLAUGERGUES[2] an, um den Einfluſs der Trockenheit für sich zu ermitteln. Zu diesem Ende trocknete er Luft in einer gehörig lutirten Tonne über frisch gebranntem Kalke, füllte aus dieser einen blechernen Kasten mittelst auslaufenden Sandes, stellte in denselben ein Gefäſs mit Wasser und maſs die Menge des verdunsteten Wassers mit dem angegebenen Maſsstabe. Da die Verdunstung ganz aufhören muſs, wenn die Luft mit Wasserdampf völlig gesättigt ist, so kam es hauptsächlich darauf an, das Verhältniſs der Wassermengen, welche in Luft von gegebener Temperatur enthalten seyn können, zu bestimmen. In Ermangelung der schärferen Bestimmungen, welche durch die neueren Forschungen über diese Aufgabe zu Gebote stehn[3], legte er die Angabe DE SAUSSURE's zu Grunde, wonach 10 Gran Wassers erfordert werden, um 1 Kubikfuſs Luft bei 15° R. völlig zu sättigen. Durch eigene Versuche fand er dann ferner, daſs die Quantitäten Wassers, welche die Luft bei verschiedenen Temperaturen aufzunehmen vermag, ein gleiches Gesetz, als die oben gefundenen Verdunstungsmengen befolgen. Es gehören aber nach der mitgetheilten Tabelle zu 15° R. 17,1 Lin. und zu 0° R. 4,4 Lin. Verdunstungshöhen. Hiernach findet er aus der Proportion

$$17{,}1 : 4{,}4 = 10 \text{ Gran} : 2{,}6 \text{ Gran}$$

die Menge des Wassers in Dampfform, wodurch ein Kubikfuſs Luft bei 0° R. gesättigt ist. Wird dann 1 Kubikzoll Wasser zu 373,5 Gran angenommen, so betragen 2,6 Gran 12 Kubiklinien, und diese im Verhältniſs zu 1 Kubikfuſs genommen geben $\frac{12}{(144)^3}$. Nimmt man die in der obigen Formel enthaltenen Gröſsen mit Weglassung der höheren Potenzen hinzu, so erhält man folgende Proportion:

$$(2{,}718)^{\frac{0}{11{,}05}} \times 4{,}4 : (2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}} \times 4{,}4 = \frac{12}{(144)^3} : \frac{12\,(2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}}}{(144)^3},$$

---

1 Journ. de l'École polyt. T. III. p. 368.

2 Journ. de Physique T. LXX. p. 157.

3 Vergl. Art. *Dampf, Dichtigkeit desselben.* Bd. II. S. 371.

als den Ausdruck der Verdunstungsmenge für x° R. bei vollkommener Trockenheit der Luft. Indem aber die Verdunstung in dem nämlichen Verhältnifs abnehmen mufs, in welchem die Sättigung mit Wasserdampf zunimmt, so ist allgemein für z als den Grad dieser Sättigung

$$\frac{12(2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}}}{(144)^3} - \frac{z}{(144)^3}$$

der Ausdruck für die Stärke der Verdunstung für x° R. und einen Grad der Sättigung = z. Wird dann z in Kubiklinien Wasser genommen, welche ein Kubikfufs Luft bei der Temperatur = x in Graden der achtzigtheiligen Scale enthält, so hat man das Verhältnifs

$$(2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}} : (2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}} - \frac{z}{12}$$

der Verdunstung in völlig trockner Luft zu der in Luft, welche z Kubiklinien Wasserdampf enthält. Die durch Versuche gefundenen Gröfsen stimmten hiermit aber nicht genügend überein, was nicht zu verwundern ist, da die zum Grunde liegenden Bedingungen der gehörigen Schärfe ermangeln. Eine bessere Uebereinstimmung zeigte sich, wenn die zweite Gröfse des Verhältnisses in $\left((2{,}72)^{\frac{x}{11{,}05}} - \frac{z}{12}\right) \times 0{,}34$ Lin. verwandelt wurde, allein auch dann sind die Unterschiede noch gröfser, als dafs sie durch blofse Beobachtungsfehler erzeugt seyn könnten, und Flaugergues erkennt daher die unüberwindlichen Schwierigkeiten, welche einer genauen Bestimmung des Werthes von z entgegenstehn, wozu die damals bekannten Hygrometer nicht ausreichten. Gesetzt aber, man könnte diese Gröfse jetzt genauer bestimmen, so findet zugleich im Freien ein so beständiger und schneller Wechsel der Temperaturen und Feuchtigkeitsgrade statt, dafs die Formel für diesen Zweck keinen praktischen Nutzen gewähren und blofs dazu dienen kann, das theoretische Gesetz der Verdunstung zu prüfen. Interessante Versuche hat Schübler [1] über die Stärke der *Verdunstung des*

1 Naturwissenschaftl. Abhandlung einer Gesellschaft von Würtemb. Th. I. S. 211.

*Eises* angestellt. Hieraus ergiebt sich, daſs dieselbe weit stärker ist, als man gewöhnlich glaubt, denn im Monat Januar 1826 betrug sie bei einer mittleren Temperatur von — 7°,5 C. und im Ganzen trockner Luft 1,48 Lin., und da die des Schnees noch stärker ist, so läſst sich hieraus leicht erklären, wie es zugeht, daſs bei starker Kälte gefallener feiner Schnee, wenn heiteres Wetter und Sonnenschein folgt, bei kalter und trockner Luft so stark verdunstet, daſs er beim Schmelzen nur wenig Wasser giebt. Unter den angegebenen Bedingungen ist die Stärke der Verdunstung des Eises gröſser, als die des Wassers bei nicht hoher Temperatur und trübem Himmel, z. B. im Februar. Die durch das Gewicht bestimmte Menge des verdunsteten Eises betrug im Mittel täglich 0,05 Linien. Der Einfluſs der Wärme zeigte sich übrigens sehr auffallend, denn die stärkste Verdunstung in Juli war über zehnmal gröſser als die stärkste im Januar bei einem Wärmeunterschiede von 36°,19 C.

Die Trockenheit der Luft hat übrigens selbst auf die technischen Verdunstungsprocesse im Groſsen einen bedeutenden Einfluſs, denn nach einem Durchschnitte aus mehreren Jahren verhielt sich die Gröſse der Verdunstung bei den Salinen des Jura[1] in den feuchteren Monaten zu der in den trocknen unter gleichen Bedingungen wie 92037 zu 109824. Auſser Rumford hat insbesondere auch Hassenfratz[2] für technische Verdunstungen im Groſsen, z. B. bei Salinen, die geeignetsten Verhältnisse der Oberflächen zu den Tiefen der Behälter auszumitteln gesucht, was auch in Beziehung auf die Menge des erforderlichen Brennmaterials bei künstlich erhöhter Temperatur in Betrachtung kommt. Am vortheilhaftesten fand er die Gröſse der Oberfläche = 1250 für eine Tiefe = 8, wonach also bei einer Tiefe von 17 der Durchmesser eines runden Gefäſses = 87, die Seite eines quadratischen = 77 und die beiden

---

1 Journ. de l'École polyt. T. III. p. 367.

2 Ebendaselbst p. 364. Die Untersuchungen über die Menge des aus offenen Canälen verdunstenden Wassers, z. B. die Versuche von Freiesleben in Lempe's Lehrbegriff der Maschinenlehre, so wie über die Verdunstung der Salzsoolen von verschiedenem Gehalte, s. Karsten's Archiv für Bergbau und Hüttenwesen Th. VI. und Th. IX. S. 193, gehören mehr in das Gebiet der Technologie.

Seiten eines länglichen 109 und 54 seyn müfsten. Wie stark übrigens die Verdunstung im Freien, besonders des mit Vegetabilien bedeckten Bodens, sey, geht aus folgender Angabe hervor. Gregory[1] brachte zum Messen des verdunstenden Wassers mit Rücksicht auf die Gröfse der Oberfläche in Vorschlag, ein reines Glas umgekehrt mit der Oeffnung auf den Boden zu stellen, nach gemessener Zeit die im Innern angesetzte Feuchtigkeit mit Musselin abzuwischen und ihre Menge durch das Gewicht zu bestimmen. Nach dieser Methode fand Dodsley durch vergleichende Versuche die Verdunstung von Brachland nach monatlicher Dürre bei ganz versengtem Grase in 12 Stunden von einem englischen Acre (von 14520 engl. Quadratfufs) 1600 Gallons oder 12800 Pinten betragend. An einem Tage nach gefallenem Regen betrug sie in derselben Zeit bei 35°,6 C. 1973 Gallons oder 15544 Pinten, und wenn es acht Tage nicht geregnet hatte, bei einer starken Hitze von 43°,33 C. 2800 Gallons oder 22400 Pinten[2]. Ausgedehntere Versuche dieser Art würden sehr interessant seyn und uns einer schärferen Bestimmung der in der Natur statt findenden Verdunstung näher bringen; sie würden aber einen enormen Aufwand von Zeit erfordern, sollten sich die überaus zahlreichen Bedingungen der Verdunstungsmenge aus ihnen entnehmen lassen. Die von Dodsley gefundenen Gröfsen z. B. finden nur für den Fall statt, dafs der Einflufs der Temperatur und der Sonnenstrahlen während der 12 Tagsstunden unverändert bliebe, was schon an sich unmöglich ist. So bemerkt D'Aubuisson[3], indem er die Menge des verdunsteten Wassers durch eine allgemeine Formel auszudrücken sucht, die nach Dalton's Messungen gefundene Höhe des verdunsteten Wassers betrage bei ganz ruhiger Luft 34 Millim., könne aber unter übrigens gleichen Umständen bei bewegter Luft wohl auf 50, ja sogar 60 Millim. steigen. Da es aber unmöglich ist, alle die verschiedenen,

1 Haushaltung der Natur. Th. I. S. 120. Diese Methode giebt keine genügenden Resultate, denn die Wärme wird unter dem Glase unverhältnifsmäfsig gesteigert, der Dampf wird nicht sofort weggeführt, und man hat anstatt der natürlichen Verdunstung einen künstlichen Destillationsprocefs.

2 Die hohe Temperatur ist vermuthlich diejenige, welche die Sonnenstrahlen auf dem Boden erzeugten.

3 Journ. de Phys. T. LXXI. p. 41.

stets wechselnden Bedingungen in einen analytischen Ausdruck aufzunehmen, so bleibt es immerhin am rathsamsten, falls man die natürliche Verdunstungsmenge an einem gegebenen Orte zu erforschen strebt, sich eines geeigneten Apparates zu bedienen, wozu im Artikel *Atmometer* die erforderliche Anweisung gegeben worden ist[1].

### b) Sieden.

516) Die Dampfbildung findet vorzugsweise, namentlich bei tropfbaren Flüssigkeiten, dann statt, wenn diese sieden, so dafs man, wenn vom Dampfe die Rede ist, mitunter ausschliefslich solchen versteht, welcher in der Siedehitze erzeugt wird. Die *Siedehitze* ist diejenige, welche beim *Sieden* (*Ebullitio;* Ebullition, Bouillonnement; *Boiling*, *Seething*) oder *Kochen* statt findet, was aber das *Sieden* eigentlich sey, hält man für so allgemein bekannt, dafs man es meistens nicht für der Mühe werth achtet, dem Wesen dieses Processes nachzuforschen, dessen eigentliches Verhalten zu begreifen keineswegs so leicht ist, als wegen der allgemeinen Bekanntschaft mit den täglich vorkommenden Thatsachen vorausgesetzt zu werden pflegt. Dennoch aber ist die Menge der hierüber bekannt gewordenen Beobachtungen und Versuche so ausnehmend grofs, dafs es schwer hält, das Wichtigere unter dem minder Bedeutenden herauszufinden und übersichtlich zusammenzustellen.

Im Allgemeinen findet das Sieden der Flüssigkeiten dann statt, wenn die aus denselben gebildeten Dämpfe einen solchen Grad der Elasticität erlangen, dafs sie nicht blofs die über ihnen befindlichen Lagen der Flüssigkeit, sondern auch die hierauf drückenden elastischen Medien, namentlich die atmosphärische Luft, mit Leichtigkeit emporzuheben vermögen und daher in Folge ihres schnellen Aufsteigens aus der jedesmaligen Flüssigkeit dasjenige eigenthümliche Aufwallen derselben bewirken, wodurch das Sieden kenntlich wird. Sofern insbesondere bei Gefäfsen von verhältnifsmäfsig grofser Oberfläche die

---

1 Beiläufig möge hier noch die Thatsache nachgetragen werden, dafs auch Dalton den im Art. *Verdunstung* Bd. IX. S. 1722 erwähnten *Geruch* mancher, namentlich metallischer Körper von losgerissenen, also verdampften, Partikelchen abzuleiten geneigt ist, s. Bibl. Brit. T. XX. p. 336.

Dampfbildung nicht blofs in den unteren Schichten, sondern in den sämmtlichen, gleichmäfsig erhitzten, statt findet, oder bei nicht beträchtlicher Dicke dieser Schichten ihr Druck nicht sehr in Betrachtung kommt, pflegt man diesen zu vernachlässigen und den Siedepunct in diejenige Temperatur zu setzen, bei welcher die Elasticität der Dämpfe die der atmosphärischen Luft erreicht hat. Uebergehn wir die früheren ganz unangemessenen Vorstellungen, welche die älteren Physiker in Gemäfsheit ihrer unrichtigen Ansichten über das Wesen der Wärme hegten, so wurde der Procefs des Siedens schon früh genügend erkannt. Ehemals glaubte man, das Sieden bestehe in einem Aufsteigen der an das Wasser gebundenen Luft, und Nollet[1] war wohl der erste, welcher die später aufsteigenden Blasen nicht für Luft, sondern für Dampf hielt. Wie wenig genau man aber damals das eigentliche Wesen der Phänomene erkannte, geht deutlich aus Musschenbroek's[2] Aeufserungen über das Sieden hervor. Nach ihm ist es das Feuer, welches anfangs fadenartig, später flockig in Gestalt von Bläschen aufsteigt und sich allseitig ausbreitet. Zugleich aber sollen die Blasen, die sich am Boden der Gefäfse bilden, aus Feuer und Dampf bestehn, worin die Wassertheilchen durch Berührung des Feuers verwandelt werden, und weil das Feuer nur eine gewisse Menge Dampf aufzulösen vermag, so verbreitet sich das überflüssige durch die gesammte Masse und reifst aus dem Wasser eine gewisse Menge Theile in Gestalt des Dampfes mit sich fort. Später, in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, hielt man allgemein den Dampf für eine Verbindung der tropfbaren Flüssigkeiten mit Wärme, und der Unterschied der verschiedenen Vorstellungen beruhte hauptsächlich auf der Frage, ob diese Verbindung als eine chemische, also als eine eigentliche Auflösung, zu betrachten sey oder nicht. Gegenwärtig hat dieser, am Ende des letzten Jahrhunderts mit Heftigkeit geführte Streit[3] kein Interesse mehr, auch ist nicht weiter die Rede von der Mitwirkung der Elektricität, die man seit Musschenbroek bei der Dampfbildung als nothwendig

---

1 Mém. de l'Acad. 1748. p. 57. Eine Vorstellung vom Wasserdampfe, als einer Verbindung des Feuers mit irgend einer Flüssigkeit, namentlich dem Wasser, hatte man schon seit Newton. S. §. 2.

2 Introd. ad Philos. Nat. §. 1455.

3 Vergl. Art. *Regen.* Bd. VII. S. 1214.

mitwirkend annahm, vielmehr betrachtet man den Dampf als eine Verbindung der Wärme und der Flüssigkeiten in der Weise, daſs die Repulsivkraft der Wärme die Anziehungskraft der Körpermolecüle merklich übertrifft und letztere daher sich stets weiter von einander entfernen, wenn sie nicht durch äuſseren Druck zusammengehalten werden.

517) Aus diesen allgemeinen Principien werden dann auch die Phänomene des Siedens leicht erklärt. Setzt man ein Gefäſs mit einer Flüssigkeit, wir wollen zum besseren Anhaltpuncte Wasser nehmen, der Einwirkung des Feuers (der Hitze) aus, so dringt die erzeugte Wärme durch die Wandungen des Gefäſses und theilt sich den berührenden Theilchen mit, welche dadurch specifisch leichter werden, demnach aufsteigen und somit, ungeachtet des schlechten Leitungsvermögens der Flüssigkeiten (§. 287), die gesammte Masse ziemlich schnell erwärmen. Durch diese Erwärmung wird die Affinität des Wassers zu den absorbirten Gasen geschwächt[1] und diese trennen sich in Gestalt sehr kleiner Bläschen, welche durch die Wärme ausgedehnt in stets wachsender Menge aufsteigen, weswegen man das Wasser, so wie andere Flüssigkeiten, namentlich auch das Quecksilber, durch anhaltendes Sieden von der darin enthaltenen Luft gänzlich befreien kann. Gleichzeitig hiermit verwandelt der von auſsen zugeführte, das Gefäſs und hauptsächlich dessen Boden durchdringende Wärmestoff die Wassertheilchen, welche die Oberfläche der inneren Wandungen unmittelbar berühren, in Dampf, welcher wegen seiner Leichtigkeit sofort aufsteigt und eine andere dünne Wasserschicht an seine Stelle treten läſst, die dann der nämlichen Verwandlung unterliegt. Dieses unausgesetzte Zuströmen neuer Wärme und die hierdurch bedingte, stets erneuerte Bildung von Wasserdampf zieht zwei Folgen nach sich, die in der Natur der Sache begründet sind. Wenn zuerst das umgebende Wasser noch so kalt ist, daſs die fortwährend an der inneren Fläche des Gefäſses gebildeten Dampfblasen sofort ihre Wärme an die höheren Wasserschichten wieder abgeben, so verschwinden die erzeugten Bläschen augenblicklich nach ihrer Entstehung wieder, die umgebende Flüssigkeit dringt in Folge des Druckes der Wasserschichten und der darüber ruhenden Atmosphäre in den ent-

---

1 S. Art. *Absorption.* Bd. I. S. 46.

standenen leeren Raum und schlägt mit einiger Heftigkeit gegen die Wandung des Gefäfses. Erneuert sich dieser Procefs an mehrern Stellen schnell, so entsteht hierdurch ein hörbares Geräusch, das sogenannte *Simmern*, welches man namentlich bei metallenen und insbesondere kupfernen Gefäfsen wegen der vorzüglichern Wärmeleitung, mitunter von bedeutender Stärke, wahrzunehmen pflegt und worauf zuerst Nicholson[1] aufmerksam machte, welcher zugleich das Phänomen richtig und nicht, wie früher, aus dem Aufsteigen der Luftblasen erklärte, indem er aufserdem seine Erklärung durch Versuche unterstützte. Eine vollständige Bestätigung gab bald nachher ein von mir selbst beobachtetes merkwürdiges Phänomen. Der zum Baden bestimmte Schlamm des Schwefelbades zu Eilsen (unweit Hannover) wurde in einem grofsen, etwa 2,5 Fufs tiefen steinernen Behälter mittelst des Dampfes erwärmt, welcher ihm durch ein etwa 1,5 Zoll weites, fast lothrecht herabgebogenes, durch eine Wand geleitetes und am andern, gleichfalls herabgebogenen Ende auf einem grofsen Kessel befestigtes Bleirohr zuströmte[2]. Der Kessel befand sich in einer eigenen Heizküche und war zur Zeit der Beobachtung, so wie das durch die Zwischenwand geleitete Bleirohr, siedend heifs. Ungefähr in jeder Secunde und selbst öfter erfolgte ein mit einiger Erschütterung des Gebäudes verbundenes Getöse, ähnlich dem heftigen Schlage mit einem schweren Hammer auf einen Fufsboden, und man hörte dieses nicht blofs in dem Gebäude, sondern selbst schon in etwa 20 Schritt Entfernung von demselben. Die Veranlassung konnte keine andere seyn, als der Dampf, welcher aus dem Heizkessel in den Schlamm des Behälters getrieben wurde, die in dem Bleirohre aufsteigende Flüssigkeitssäule herabdrückte, nach Abgabe der Expansionswärme aber ein Vacuum erzeugte, in welches der Schlamm mit Heftigkeit eindrang. Die Flüssigkeit im Behälter blieb dabei unbewegt und nur selten stiegen einige Luftblasen neben dem Rohre bis zur Oberfläche empor; dem Rohre aber wurde die Erschütterung, aufser sofern es an der des blofs zu diesem Zweck bestimmten kleinen Hauses Theil nahm, noch beson-

---

1 Dessen Journal Th. XI. S. 216. G. XXII. 397.

2 Der Heizapparat war also nach der älteren Bezeichnungsart ein sogenannter *Pelican*.

ders mitgetheilt, wovon man sich bei der Berührung desselben überzeugen konnte, soweit dessen Hitze dieses gestattete [1].

518) Eine zweite Wirkung, welche als Folge des von der Wärmequelle stets ausströmenden, das Gefäfs durchdringenden und an die berührenden Wassertheilchen übergehenden Wärmestoffes zu betrachten ist, wurde oben (§. 305) bei der Untersuchung der Wärmeleitung bereits erörtert, nämlich die verhältnifsmäfsig geringe Wärme des Bodens solcher Gefäfse, in denen das Wasser stark siedet, in dem Augenblicke, wenn man sie vom Feuer entfernt. Es ist zu verwundern, dafs dieses interessante, für die Materialität und ganz eigentliche Bewegung des Wärmestoffes so sehr sprechende Phänomen erst neuerdings durch Jacquemyns und die Brüsseler Akademie wieder aus der Vergessenheit gezogen, in der vorhergehenden Zeit aber gänzlich vernachlässigt wurde, ungeachtet die älteste Beobachtung desselben sich schon beim Aristoteles [2] befindet. Dieser giebt blofs die Thatsache an und beschränkt sie auf ein dünnes Gefäfs, was auch insofern gegründet ist, als das Durchströmen der Wärme durch eine zu dicke Masse nicht zu sehr verzögert seyn darf. Durch die Mitglieder der Pariser Akademie [3] wurde das Phänomen geprüft und bestätigt gefunden, dabei aber bemerkt, das Gefäfs müsse grofs und dessen Boden sehr dünn seyn, auch finde die Abkühlung der Bodenfläche nur so lange statt, als das Wasser noch im Sieden bleibe, indem unmittelbar nachher der Boden wieder sehr heifs werde. Gehler [4] erwähnt zugleich die wegen ihrer Sonderbarkeit interessante Erklärung, welche Homberg, Nollet, Musschenbroek, Brisson u. A. über dieses Phänomen aufstellten, wonach die Wärmetheilchen wie Pfeile mit ihren Spitzen durch das Gefäfs dringen und aufwärts steigen sollen, also die Hand nicht verletzen können, bis das Sieden aufhört und die Wege verstopft sind, so dafs sie dann ihre Richtung umkehren. Er selbst giebt übrigens die richtige Erklärung.

---

1 Gilbert in einer Anm. a. a. O. theilt ganz diese Ansicht, die übrigens schon Gehler im Wörterb. a. A. Th. IV. S. 43 als wahrscheinlich aufstellt.

2 Problemat. Sect. XXIII. §. 5.

3 Histoire de l'Acad. 1703. p. 30.

4 Wörterbuch, a. Ausg. Th. IV. S. 56.

Im genauen Zusammenhange hiermit steht die bekannte Erfahrung, dafs eine freie und, man möchte sagen, ungehinderte Bewegung der Wärme erfordert wird, um den Procefs des Siedens fortdauernd zu erhalten, welche nicht statt finden kann, sobald die Leitung derselben unterbrochen ist. Auch hiervon war bereits (§. 300) die Rede, und es wurde eben in Beziehung auf die Fortpflanzung der Wärme die bekannte Erfahrung erörtert, dafs das Wasser in einem Gefäfse, welches sich in einem gröfseren Gefäfse mit siedendem Wasser befindet, nicht zum Sieden gelangt, wie stark auch das Feuer seyn mag, dem man das äufsere Gefäfs aussetzt. Erfahrungen hierüber giebt es in Menge; die Sache ist ausführlich erörtert worden von Ladisl. Chernak [1], und aufser den bereits genannten Forschern, welche dieses Problem einer näheren Untersuchung werth hielten, können noch Borrichius [2], Cigna [3] und v. Lamperti [4] erwähnt werden. Letzterer setzte vier zunehmend kleinere Gefäfse in einander und fand, wenn das äufserste einem lebhaften Feuer ausgesetzt wurde, die Temperaturen 100°; 92°,5; 86°,25; 82°,5; war aber das äufsere mit Salzwasser gefüllt, so beobachtete er folgende abnehmende Temperaturen: 102°,5; 95°,0; 87°,5; 83°,75 C. Technisch liefse sich hiervon eine Anwendung machen, wenn man irgend eine Substanz einer constanten, die Siedehitze nicht erreichenden, vielmehr in einem bestimmten Abstande davon befindlichen Temperatur aussetzen wollte, die sich dann durch die Menge der in einander gesetzten Gefäfse bestimmen liefse. Die Chemiker bedienen sich dieses Mittels seit der längsten Zeit, indem sie ein Wassergefäfs in ein anderes mit siedendem Wasser setzen, und nennen diesen Apparat *Marienbad*, *Wasserbad* (*balneum maris seu Mariae;* bain-Marie). Man wird bei dieser Betrachtung unwillkürlich an die Fortpflanzung des Schalles erinnert, für welchen leinene, wollene oder sonstige Fäden und Gewebe bessere Leitungsmittel abgeben, als die Luft, obgleich eben diese seinen Fortgang hindern, wenn sie wiederholt von den durch die Luft fortgepflanzten Wellen durchdrungen werden müssen, in-

1 Dissert. de aqua intra aquam ferventem non ebulliente. Groning. 1775. 4.

2 Acta med. et phil. Hafn. 1771 u. 72. p. 133.

3 Journ. de Phys. T. III. p. 109.

4 Hermbstädt's Bülletin. Th. X. Hft. 3.

dem man die Schläge der Unruhe einer Taschenuhr aus 1 Fuſs Entfernung durch die Luft sehr gut wahrnimmt, aber dann nicht, wenn die Uhr in ein Tuch eingewickelt ist.

519) Es läſst sich hier zunächst der Einfluſs anreihen, welchen die *Oberfläche der Gefäſse*, worin sich die Flüssigkeiten befinden, auf das Sieden derselben ausübt. Wollen wir zur richtigen Beurtheilung der in dieser Beziehung vorkommenden und vielfach beobachteten Thatsachen zuerst die allgemeinen Principien feststellen, worauf eine richtige Erklärung gegründet seyn muſs, so ist Folgendes zu bemerken, wenn von dem bereits §. 229 und 234 erörterten Einflusse der Oberflächen auf die Wärmestrahlung abstrahirt und bloſs der Proceſs des Siedens berücksichtigt wird. Sobald die gegebene Flüssigkeit diejenige Temperatur angenommen hat, vermöge welcher der aus ihr aufsteigende Dampf die erforderliche Elasticität besitzt, um sowohl die Lagen der Flüssigkeit, als auch die darauf drückende Luftsäule mit Leichtigkeit zu heben, so tritt das Sieden ein, und dauert mit gröſserer oder geringerer Raschheit fort, je leichter und schneller Wärme von auſsen zuströmt. Sofern aber die letztere stets zur Bildung neuen Dampfes dient, kann die Flüssigkeit nicht wärmer werden, und die Fixität des Siedepunctes ist daher lediglich durch den Luftdruck bedingt, wovon sofort die Rede seyn wird. Auf das in die Flüssigkeit getauchte Thermometer wirkt aber nicht bloſs die derselben eigene Wärme, obgleich diese die vorzüglichste Ursache ist, sondern zugleich die von den Wandungen, hauptsächlich vom Boden des Gefäſses, ausstrahlende, die bei so vielen Erscheinungen eine sehr bedeutende Rolle spielt. Diese letztere wirkt wiederum auf zweierlei Weise, zuerst indem sie auf die Thermometerkugel fällt und das Quecksilber steigen macht, oder zweitens indem sie auf adiathermane Körper stöſst und diese zur Entwickelung von Dampf disponirt. Befinden sich nämlich kleine Stückchen fester Körper, namentlich feine Metallspähne, Feilicht, Sägespähne von Holz oder sonstige kleine Theilchen im Wasser schwebend, so gewahrt man, daſs von diesen kleine Gasbläschen aufsteigen, und thermometrische Messungen ergeben, daſs sie das Sieden erleichtern. Diese Wirkung kann nach unsern Vorstellungen von der Wärme nur auf zweierlei Weise erklärt werden; denn daſs sich fortdauernd Wärme aus diesen Körperchen entwickeln solle, ist auf keine

Weise anzunehmen. Sie müssen daher entweder die aus den Wandungen der Gefäſse strahlende Wärme auffangen und an die sie berührenden Wassertheilchen zur Bildung von Dampf abgeben, oder aber die im Wasser befindlichen, unsichtbar kleinen Dampfbläschen hängen sich an sie, werden durch ihre Vereinigung vergröſsert und steigen dann auf, wie die Luftbläschen in gashaltigen Flüssigkeiten sich an allen, insbesondere rauhen und faserigen Körpern ansammeln. Welcher von beiden Ansichten wir auch huldigen, so dient jede zur Erklärung der durch diese Körperchen erzeugten Wirkung, und die Strahlung aus den Flächen ist ohnehin für sich, wie wir sehn werden, genügend erwiesen.

Es war seit langer Zeit bekannt, daſs die Temperatur des siedenden Wassers bei gleicher Barometerhöhe zwar im Ganzen eine constante sey, daſs jedoch kleine Unterschiede sich unverkennbar zeigen. Achard [1] redet von solchen wenig merkbaren Abweichungen, die namentlich auch durch unauflösliche, im Wasser befindliche Körper hervorgebracht werden, und giebt eine sehr ausführliche Tabelle über die verschiedensten Substanzen sowohl, als auch die Stärke ihres Einflusses. G. G. Schmidt [2] kam bei seinen Untersuchungen über die Elasticität des Wasserdampfes zu der Ueberzeugung, daſs der Siedepunct sich überhaupt nicht mit einer 0°,1 R. erreichenden Sicherheit bestimmen lasse, und betrachtet dieses als eine Folge des mit wachsender Elasticität aufsteigenden, beim Entweichen aber seine Spannung momentan verlierenden Wasserdampfes [3]. Allerdings befindet sich die Oberfläche des Quecksilberfadens eines in siedendes Wasser eingetauchten Thermometers oft in einer oscillirenden Bewegung, es ist jedoch schwer zu entscheiden, ob der angegebene Grund dieses erklärbar macht, oder ob dieses Schwanken eine Folge der in ungleicher Menge

1 Mém. de Berlin. 1785. p. 2. Ann. de Chim. T. X. p. 49. Schweigger's Journ. XXVII. 27.

2 Gren N. Journ. d. Physik. Th. IV. S. 294.

3 Die sehr wortreich erzählten Versuche, welche Bellani angestellt hat, wobei er den Einfluſs fester Körper auf die Temperatur des Siedens bestätigt, übrigens den Siedepunct schwankender fand, als mit andern Beobachtungen vereinbar ist, übergehe ich, da sie keine neue Aufklärung der Aufgabe enthalten. S. Brugnatelli Giorn. T. II. p. 413.

zuströmenden Wärme ist. Befindet sich das Wasser in fortdauernd gleichmäſsigem Sieden, hält man das Thermometer unverrückt in gleicher Entfernung vom Boden des Gefäſses, und sorgt man dafür, daſs der hervorragende Theil der Röhre nicht zu ungleich abgekühlt werde, so bleibt das Ende des Quecksilberfadens constant auf dem gegebenen Siedepuncte. Auch Egen[1] hat den Einfluſs der Tiefe, bis zu welcher die Thermometerkugel ins Wasser getaucht worden ist, auf die Höhe des Siedepunctes und das stete Schwanken des unbekleideten Thermometers wahrgenommen; wenn man aber die Kugel einhüllt, so hängt die Höhe des alsdann fixen Siedepunctes von der Beschaffenheit der Bekleidung ab. Am meisten Aufmerksamkeit erregten die Resultate, welche Gay-Lussac[2] durch seine Versuche erhielt. Hiernach fand er, daſs ein Thermometer im Wasser, welches in einem gläsernen Gefäſse siedete, 101°,232 C. zeigte, aber auf 100°,329 herabging, wenn er fein gepulvertes Glas hineinstreute, und auf 100°,0, wenn er feine Metallspähne hineinbrachte; in einem metallenen Gefäſse dagegen zeigte das Thermometer genau 100° C.; die Weite des Gefäſses hatte keinen Einfluſs auf den Siedepunct und ebenso wenig die Menge der eingestreuten metallischen Feilspähne. Seitdem nahm man allgemein an, daſs das Wasser in metallenen Gefäſsen leichter siede, als in gläsernen, und auch dann leichter, wenn Metalltheilchen im Wasser schwimmen; Biot[3] gab an, daſs Wasser, bis zum Aufhören des Siedens um eine Kleinigkeit abgekühlt, durch einige hineingeworfene Feilspähne wieder zu sieden beginne, und wagt nicht, die Ursache dieser Anomalie anzugeben, stellt aber als Regel auf, daſs der Siedepunct der Thermometer mit Anwendung eines metallenen Gefäſses bestimmt werden müsse[4]. Diese Ungewiſsheit der Sache bewog mich selbst, in Verbindung mit L. Gmelin[5] eine Reihe Versuche anzustellen, wozu sich sehr geeignete Mittel darboten. Das hiesige Cabinet enthält einen Apparat für die Lehre der

---

1 Poggendorff's Ann. XI. 285.

2 Ann. de Chim. T. LXXXII. p. 174. Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 307. Schweigger's Journ. XXIV. 327.

3 Traité cet. T. I. p. 43.

4 Man weiſs jetzt, daſs der Siedepunct der Thermometer im Dampfe constant erhalten wird, s. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 890.

5 G. LVII. 211.

Wärmeleitung mit 8 cylindrischen Gefäſsen von 3 Zoll Höhe und 1,3 Zoll Weite, sämmtlich von gleicher Dicke der Wandungen und des Bodens. Wir wählten deren 5 von Kupfer, Messing, Zinn, Blei und Marmor, nahmen hinzu einen möglichst ähnlichen Tiegel von dünnem Silber und einen von Platin, einige abgesprengte Medicingläser von nahe ähnlicher Gröſse, ein Gefäſs von Fayence, eins von Porcellan und einen irdenen Topf, brachten in allen reines Wasser auf die nämliche Weise zum Sieden, und beobachteten den Siedepunct an demselben Thermometer. In allen stand das Thermometer höher, wenn die Kugel den Boden berührte, und dieser Unterschied war am gröſsten bei Messing, wo er 0°,7 R. betrug, am geringsten aber bei Porcellan, wo er nur 0°,1 R. erreichte. Die Thermometerstände selbst, wenn sich die Kugel 0,5 Zoll unter der Oberfläche des Wassers befand, waren folgende, den Siedepunct der Scale als Grenze angenommen:

| Gefäſse von | Grade R. | Gefäſse von | Grade R. |
|---|---|---|---|
| Silber . . . . . | — 0°,20 | Porcellan . . . . | — 0°,05 |
| Platin . . . . . | — 0,50 | weiſses Glas . . . | 0,00 |
| Kupfer . . . . . . | + 0,01 | grünes Glas . . . | + 0,60 |
| Messing . . . . | — 0,15 | grünes Glas . . . | 0,00 |
| Marmor . . . . | — 0,15 | grünes Glas . . . | + 0,10 |
| Blei . . . . . . . | — 0,10 | Fayence . . . . . . | + 0,30 |
| Zinn . . . . . . | — 0,10 | irdener Topf . . . | + 0,29 |

Bei weiſsem und der einen Sorte des grünen Glases zeigte sich daher kein Unterschied, und vermuthlich war der Siedepunct des von uns gebrauchten Thermometers in einem solchen Gefäſse oder in einem kupfernen, wobei die Abweichung am geringsten ist, bestimmt; hineingeworfener Sand brachte den Siedepunct um einige Zehntel eines Grades herab, Kupferfeilspähne aber, wovon der gröſste Theil auf dem Boden lag, ein anderer geringerer aber obenauf schwamm, schien keine Wirkung zu haben[1]. Nehmen wir den gröſsten Unterschied zwi-

[1] Diese Abweichung von Gay-Lussac's Erfahrungen beruhn vermuthlich auf dem Umstande, daſs wir die Gefäſse der Gleichmäſsigkeit wegen neben einander stehend in einem Sandbade erhitzten, wonach also das Zuströmen der Wärme und das Aufsteigen des Dampfes zu gering war, um die Metallspähne mit sich empor zu reiſsen.

schen Platin und Glas, so beträgt dieser 1°,1 R. oder 1°,375 C., also mehr, als Gay-Lussac gefunden hat, bei allen andern ist er geringer, und ein bestimmter fester Unterschied zwischen der Siedehitze in gläsernen und metallenen Gefäſsen findet also hiernach nicht statt, doch siedet das Wasser in allen metallenen Gefäſsen, mit Ausnahme des Kupfers, bei geringerer Wärme, als in gläsernen. Ein nicht unbedeutender Umstand entging dabei unserer Aufmerksamkeit nicht. Der silberne Becher hatte an einer Stelle des Bodens, etwas seitwärts, einen schwarzen Fleck. Sobald die Kugel diesen berührte, stieg das Thermometer bis + 0°,5 R. und kehrte, mit der blanken Oberfläche in Berührung gebracht, wieder auf — 0°,10 zurück. Hierin scheint mir der Beweis für die Anwesenheit strahlender Wärme zu liegen.

Rudberg[1] war bloſs mit Gay-Lussac's Versuchen bekannt, wenigstens erwähnt er diese allein; er wiederholte diese und fand den Siedepunct, wenn er in einem eisernen Gefäſse bei 100° C. gefunden wurde, in einem gläsernen Gefäſse bei 101°,3 liegend, statt daſs Gay-Lussac 101°,23 gefunden habe. Daſs bei verschiedenen Glassorten der Siedepunct ungleich hoch liege, geht aus den eben angegebenen Versuchen hervor, allein auch die verschiedenen Metalle erzeugen einen Unterschied, und anstatt daſs Rudberg bloſs eine eigenthümliche Sorte Glas und Eisen mit einander verglich, redet Gay-Lussac im Allgemeinen von dem Unterschiede, welcher sich in dieser Hinsicht zwischen Metallen und Glas zeigt. Zum Glück hat dieses Problem gegenwärtig, da man den Siedepunct der Thermometer vermittelst Wasserdampfes bestimmt, seine praktische Wichtigkeit verloren, es hat gegenwärtig nur noch wissenschaftliches Interesse, ist aber noch keineswegs vollständig gelöst, wie aus der Ungleichheit der erhaltenen Resultate hervorgeht; denn da die einander am nächsten kommenden, durch Gay-Lussac und Rudberg gefundenen, dennoch merklich von einander abweichen, so liegt hierin ein Wahrscheinlichkeitsgrund für die Richtigkeit der durch Gmelin und mich gefundenen Bestimmungen. Welches auch immer die Ursache dieser Eigenthümlichkeit, das Wasser bei ungleichen Temperaturen zum Sieden zu bringen, seyn mag, warum sollte sie bei

1 Poggendorff's Ann. XL. 49.

allen Metallen und im Gegentheil bei allen Glasarten in gleicher Stärke wirksam seyn?

Die Ursache dieser Ungleichheit der Siedehitze des Wassers in verschiedenen Gefäfsen findet Rudberg in der Adhäsion des Wassers zu den Wandungen oder, wie er sich wörtlich ausdrückt, darin, dafs das Wasser vom Glase stärker angezogen werde, als vom Metalle. Obgleich keine andere möglich seyn soll, so ist doch diese zuverlässig durchaus unstatthaft, denn die Dampfblasen steigen unter allen Bedingungen vorzugsweise aus und in der Mitte des Wassers auf, wohin die nur in unmefsbare Ferne wirkende Adhäsion nicht reichen kann. Wollten wir aber auch annehmen, die Adhäsion des Wassers oder selbst auch des Dampfes am Boden der Gefäfse sey stärker beim Glase als beim Metalle, und diese müfsten daher eine höhere Temperatur annehmen, ehe sie sich loszureifsen und aufzusteigen vermöchten, so würden sie doch in der Mitte und nahe an der Oberfläche des Wassers ihren Ueberschufs wieder abgeben, wie dieses vor dem Sieden geschieht. Weit mehr Wahrscheinlichkeit hat daher die oben angegebene Ursache für sich, wonach die namentlich vom Boden ausgehende strahlende Wärme diese Wirkung hervorbringt, was darin Bestätigung findet, dafs das Glas ein weit diathermanerer Körper ist, als Metall, selbst für dunkle Wärme, doch mehr für leuchtende, weswegen auch die von mir und Gmelin gefundenen Unterschiede, aufser für Platin und eine einzige Glassorte, alle geringer sind, als die durch Gay-Lussac und Rudberg erhaltenen, da wir dunkle Wärme im Sandbade, jene aber ohne Zweifel leuchtende anwandten. Hierfür sprechen auch Rumford's Versuche, wonach heifses Wasser in gläsernen Flaschen von weit dickeren Wandungen schneller erkaltete, als in metallenen (§. 230). Wird diese strahlende Wärme durch kleine Körperchen aufgefangen und zur Dampfbildung verwandt, so steigt die Wärme nicht, eine gleiche Wirkung kann aber die glatte Thermometerkugel nicht äufsern, und aufserdem bleibt fraglich, ob diese kleinen Partikeln nicht blofs die unsichtbaren Dampfbläschen vereinigen, ihr Aufsteigen erleichtern und dadurch die Temperatur des siedenden Wassers herabbringen.

520) Im genauesten Zusammenhange mit diesen Phänomenen steht ein anderes, nämlich das *Sieden der Salzsolutionen*,

wobei die siedende Flüssigkeit eine zunehmend höhere Temperatur hat, als reines Wasser, während die Wärme des von beiden aufgestiegenen Dampfes ganz gleich ist. Man wuſste lange im Allgemeinen, daſs Wasser, worin Salze aufgelöst sind, eine höhere Temperatur beim Sieden annimmt, als wenn es rein ist, es wurde daher als Bedingung gefordert, daſs für die Bestimmung des Siedepunctes der Thermometer reines Wasser angewandt werden müsse, und Salzsolutionen wurden angewandt, um nach Art des Marienbades eine höhere Wärme, als die des siedenden Wassers, ohne unmittelbare Anwendung des Feuers, auf gewisse Substanzen einwirken zu lassen; die eigentliche wissenschaftliche Aufgabe ist aber, das Verhältniſs der Temperaturen siedender Solutionen zu der Menge und Lösbarkeit der verschiedenen Salze aufzufinden. Eine Menge hierher gehöriger Versuche hat Griffith[1] angestellt, die jedoch, wie Poggendorff bemerkt, nicht wissenschaftlich genug sind und manches zu wünschen übrig lassen. Er brachte Wasser mit einem Ueberschusse des jedesmaligen Salzes in einem porcellanenen Gefäſse über einer Argand'schen Lampe zum Sieden und maſs die hierzu gehörige Temperatur. Den Salzgehalt der Lösung maſs er dadurch, daſs er einen Theil der Lösung abdampfte und die Menge des enthaltenen Salzes durch das Gewicht bestimmte; er gelangte auf diese Weise zu dem Resultate, daſs der Siedepunct nicht stets im geraden Verhältnisse zu der Menge des enthaltenen Salzes und seiner Lösbarkeit steht. Die nachfolgende Tabelle, welche die gefundenen Gröſsen enthält, wird am besten dazu dienen, die daraus hervorgehenden Folgerungen zu entnehmen.

---

1 Journal of Science. N. XXXV. p. 90. Berzelius Jahresbericht 1826. S. 50. Poggendorff's Ann. II. 227. Wiener Zeitschrift. Th. I. S. 291 u. s. w.

| Solutionen. | Procente des Salzes. | Siede-punct in Graden C. |
|---|---|---|
| Essigsaures Natron . . . . . | 60 | 124°,5 |
| Salpetersaures Natron . . . . | 60 | 118 |
| Weinsaures Kali-Natron . . | 90 | 115,6 |
| Salpeter . . . . . . . . | 74 | 114,5 |
| Salmiak . . . . . . . . . | 50 | 113,3 |
| Schwefelsaures Nickel . . . | 65 | 112,8 |
| Weinsaures Kali . . . . . | 68 | 112,3 |
| Kochsalz . . . . . . . . | 30 | 106,8 |
| Salpetersaure Strontianerde . . | 53 | 106,8 |
| Schwefelsaure Talkerde . . . | 57,5 | 105 |
| Saures, schwefelsaures Kali . . | .... | 105 |
| Borax . . . . . . . . . . | 52,5 | 105 |
| Phosphorsaures Natron . . . | .... | 105 |
| Kohlensaures Natron . . . . | .... | 104,5 |
| Salzsaurer Baryt . . . . . | 45 | 104,5 |
| Schwefelsaures Zinkoxyd . . | 45 | 104,5 |
| Alaun . . . . . . . . . . | 52 | 104,5 |
| Oxalsaures Kali . . . . . | 40 | 104,5 |
| Oxalsaures Ammoniak . . . | 29 | 103,3 |
| Blutlaugensalz . . . . . . | 55 | 103,3 |
| Chlorsaures Kali . . . . . | 40 | 103,3 |
| Boraxsäure . . . . . . . | .... | 103,3 |
| Schwefelsaures Kalikupfer . . | 40 | 102,8 |
| Schwefelsaures Kupferoxyd . . | 45 | 102,2 |
| Schwefelsaures Eisenoxydul . . | 64 | 102,2 |
| Salpetersaures Bleioxyd . . . | 52,5 | 102,2 |
| Essigsaures Bleioxyd . . . . | 41,5 | 101,7 |
| Schwefelsaures Kali . . . . | 17,5 | 101,7 |
| Salpetersaurer Baryt . . . . | 26,5 | 101,1 |
| Weinstein . . . . . . . . | 9,5 | 101,1 |
| Essigsaures Kupferoxyd . . . | 16,5 | 101,1 |
| Cyanquecksilber . . . . . | 35 | 101,1 |
| Quecksilbersublimat . . . . | .... | 101,1 |
| Schwefelsaures Natron . . . | 31,5 | 100,55 |

521) Eine sehr ausführliche Untersuchung über die Veränderung des Siedepunctes durch die verschiedenen, in ungleichen Quantitäten aufgelösten Salze hat LEGRAND angestellt[1],

1 Recherches sur les Variations que les sels dissous en diverses proportions produisent dans le point d'ébullition de l'eau. Par. 1835. 8. Ann. de Chim. et Phys. T. LIII. p. 423. Auszug in l'Institut 1835. N. 118. Poggendorff's Ann. XXXVII. 379.

deren Resultate wir hier in einem kurzen Auszuge mittheilen wollen. Das hierbei gebrauchte Thermometer war sehr genau und der nicht eingetauchte Theil seiner Röhre wurde berücksichtigt; die Flüssigkeit befand sich in einer 6 Z. langen, 11 Lin. weiten Glasröhre oder in einem Platintiegel, und das Thermometer wurde durch einen, zum freien Durchgange des Dampfes durchbohrten Kork festgehalten. Die Salze waren vorher getrocknet; die aufgelösten Mengen wurden durch das Gewicht bestimmt, und zwar bei zerfliefslichen durch den Gewichtverlust der Flasche, woraus man sie nahm; um aber für jeden Augenblick das Verhältnifs ihrer Menge zu der des Wassers zu kennen, welches sich durch den Verlust des Dampfes fortdauernd verminderte, ward das Gefäfs gewogen, worin sich die Solution befand, und des Gewicht des Gefäfses und des Salzes abgezogen. Bei manchen Solutionen findet vor dem Sieden und während desselben ein *heftiges Stofsen* statt, wodurch das Thermometer beträchtliche Schwankungen erleidet; Legrand fand aber, dafs einige hineingeworfene Stücke Zink oder Eisen dieses aufheben, und er bediente sich daher des ersteren Metalls, um dieses Hindernifs zu beseitigen, da ohnehin dasselbe in der Regel gar nicht angegriffen wurde. Bei der Bestimmung der Siedehitze gesättigter Solutionen bemerkte Legrand eine ähnliche Erscheinung, als welche sich beim Gefrieren des Wassers zeigt; die Temperatur wuchs bedeutend und sank sofort herab, wenn ein Theil des Salzes niederfiel, worauf sie dann constant blieb. Um das dieser Temperatur zugehörige quantitative Verhältnifs der Sättigung zu finden, wurde wieder Wasser zugesetzt, die Temperatur der gesättigten Lösung wieder hergestellt und dann gewogen, zur Controle aber die zur Lösung erforderliche Quantität Salz und Wasser vereinigt, und nachdem die vollständige Lösung durch steigende Hitze erfolgt war, abermals gewogen. Die so gefundene Temperatur soll zugleich hinreichen, um den Salzen ihr gesammtes Krystallwasser zu nehmen. Zeichnet man graphisch die über dem Siedepuncte der reinen Wassers liegenden Grade des Centesimalthermometers, welche dem Siedepuncte der Solutionen zugehören, als Ordinaten, und die Procente der aufgelösten Salzmengen als Abscissen, so giebt die durch die Endpuncte gezogene Linie die *Curve der Verzögerung des Siedepunctes.* Von diesen Curven giebt es drei Arten; die eine ist von ein-

facher Krümmung, die beiden andern haben einen Wendepunct, und zwar ist bei den einen die Krümmung anfangs gegen die Axe der Abscissen, bei den andern gegen die der Ordinaten gewandt. Die folgenden abgekürzten Tabellen enthalten in der ersten Columne die Procente des aufgelösten Salzes (pC.), in der zweiten zuerst die Temperatur, bei welcher das reine Wasser siedete, und dann diejenige, bei welcher das Sieden der bezeichneten Solutionen statt fand (t′), in Centesimalgraden.

Chlorstrontium.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | 100°,4 | 37,9 | 104°,4 | 68,9 | 110°,4 | 104,0 | 116°,4 |
| 16,7 | 101,4 | 48,8 | 106,4 | 79,6 | 112,4 | 110,9 | 117,4 |
| 25,2 | 102,4 | 59 | 108,4 | 91,2 | 114,4 | 117,5 | 118,25 |

Chlorcalcium.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,1 | 55,6 | 114°,1 | 104,0 | 130°,1 | 203,0 | 158°,1 |
| 16,5 | 102,1 | 61,6 | 116,1 | 117,2 | 134,1 | 221,6 | 162,1 |
| 25,8 | 104,1 | 67,6 | 118,1 | 129,9 | 138,1 | 241,9 | 166,1 |
| 32,6 | 106,1 | 73,6 | 120,1 | 142,8 | 142,1 | 264,2 | 170,1 |
| 38,5 | 108,1 | 79,8 | 122,1 | 156,2 | 146,1 | 288,5 | 174,1 |
| 44,0 | 110,1 | 86,0 | 124,1 | 170,5 | 150,1 | 314,8 | 178,1 |
| 49,7 | 112,1 | 92,2 | 126,1 | 186,0 | 154,1 | 325,0 | 179,6 |

Neutrales weinsaures Kali.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,3 | 82,3 | 104°,3 | 156,5 | 108°,3 | 237,9 | 112°,3 |
| 26,9 | 101,3 | 100,1 | 105,3 | 176,1 | 109,3 | 259,5 | 113,3 |
| 47,2 | 102,3 | 118,5 | 106,3 | 196,2 | 110,3 | 281,6 | 114,3 |
| 65,0 | 103,3 | 137,3 | 107,3 | 216,8 | 111,3 | 296,2 | 114,97 |

Kohlensaures Kali.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,3 | 65,9 | 108°,3 | 117,1 | 118°,3 | 167,7 | 128°,3 |
| 13,0 | 101,3 | 77,6 | 110,3 | 127,0 | 120,3 | 178,1 | 130,3 |
| 22,5 | 102,3 | 88,2 | 112,3 | 137,0 | 122,3 | 188,8 | 132,3 |
| 38,8 | 104,3 | 98,0 | 114,3 | 147,1 | 124,3 | 199,6 | 134,3 |
| 53,1 | 106,3 | 107,5 | 116,3 | 157,3 | 126,3 | 205,0 | 135,3 |

Salpetersaurer Kalk.

| pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,1 | 71,8 | 108°,1 | 148,1 | 120°,1 | 274,7 | 140°,1 |
| 15,0 | 101,1 | 85,3 | 110,1 | 172,2 | 124,1 | 302,6 | 144,1 |
| 25,3 | 102,1 | 98,4 | 112,1 | 197,0 | 128,1 | 333,2 | 148,1 |
| 42,6 | 104,1 | 111,2 | 114,1 | 222,2 | 132,1 | 351,2 | 150,1 |
| 57,8 | 106,1 | 123,8 | 116,1 | 248,1 | 136,1 | 362,2 | 151,1 |

Essigsaures Natron.

| pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,1 | 30,5 | 104°,1 | 83,4 | 112°,1 | 156,1 | 120°,1 |
| 9,9 | 101,1 | 42,9 | 106,1 | 98,8 | 114,1 | 179,3 | 122,1 |
| 17,6 | 102,1 | 55,8 | 108,1 | 115,8 | 116,1 | 204,5 | 124,1 |
| 24,1 | 103,1 | 69,2 | 110,1 | 134,9 | 118,1 | 209,0 | 125,47 |

Essigsaures Kali.

| pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,2 | 85,3 | 112°,2 | 180,1 | 126°,2 | 436,9 | 150°,2 |
| 10,5 | 101,2 | 97,6 | 114,2 | 196,1 | 128,2 | 500,0 | 154,2 |
| 20,0 | 102,2 | 110,3 | 116,2 | 213,0 | 130,2 | 569,9 | 158,2 |
| 36,4 | 104,2 | 123,4 | 118,2 | 248,7 | 134,2 | 646,6 | 162,2 |
| 49,8 | 106,2 | 136,9 | 120,2 | 287,3 | 138,2 | 730,4 | 166,2 |
| 61,6 | 108,2 | 150,2 | 122,2 | 330,8 | 142,2 | 775,0 | 168,2 |
| 73,3 | 110,2 | 165,1 | 124,2 | 380,6 | 146,2 | 798,2 | 169,2 |

Chlornatrium.

| pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,2 | 10,8 | 101°,7 | 23,1 | 104°,2 | 35,8 | 107°,2 |
| 4,4 | 100,7 | 13,4 | 102,2 | 27,7 | 105,2 | 39,7 | 108,2 |
| 7,7 | 101,2 | 18,3 | 103,2 | 31,8 | 106,2 | 41,2 | 108,6 |

Chlorkalium.

| pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,25 | 13,2 | 101°,75 | 31,4 | 104°,25 | 50,5 | 107°,25 |
| 4,7 | 100,75 | 17,1 | 102,25 | 37,8 | 105,25 | 56,9 | 108,25 |
| 9,0 | 101,25 | 24,2 | 103,25 | 44,2 | 106,25 | 59,4 | 108,65 |

Chlorbaryum.

| pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,2 | 19,6 | 101°,2 | 32,5 | 102°,2 | 56,0 | 104°,2 |
| 11,0 | 100,7 | 26,2 | 101,7 | 44,5 | 103,2 | 60,1 | 104,6 |

Kohlensaures Natron.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,0 | 14,4 | 101°,0 | 26,7 | 102°,0 | 44,7 | 104°,0 |
| 7,5 | 100,5 | 20,8 | 101,5 | 36,8 | 103 | 48,5 | 104,63 |

Phosphorsaures Natron[1].

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 99°,9 | 40,8 | 101°,9 | 76,4 | 103°,9 | 105,0 | 105°,9 |
| 21,0 | 100,9 | 59,4 | 102,9 | 91,5 | 104,9 | 112,6 | 106,5 |

Chlorsaures Kali.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,2 | 14,64 | 101°,2 | 29,28 | 102°,2 | 43,92 | 103°,2 | 61,5 | 104°,4 |

Salpetersaures Kali.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,2 | 42,2 | 103°,2 | 93,2 | 106°,2 | 233,0 | 112°,2 |
| 12,2 | 101,2 | 59,6 | 104,2 | 140,6 | 108,2 | 283,3 | 114,2 |
| 26,4 | 102,2 | 78,3 | 105,2 | 185,9 | 110,2 | 335,1 | 116,1 |

Salpetersaures Natron.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100°,3 | 57,6 | 106°,3 | 120,3 | 112°,3 | 188,6 | 118°,3 |
| 18,7 | 102,3 | 77,9 | 108,3 | 142,4 | 114,3 | 212,6 | 120,3 |
| 37,9 | 104,3 | 98,8 | 110,3 | 165,2 | 116,3 | 224,8 | 121,3 |

Krystallisirtes salpetersaures Ammoniak.

| pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t′ | pC. | t. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100° | 114,9 | 110° | 254,0 | 124° | 1081,5 | 148° |
| 10 | 101 | 142,4 | 112 | 440,2 | 128 | 1273,0 | 152 |
| 20,5 | 102 | 172,0 | 114 | 537,3 | 132 | 1504,0 | 156 |
| 42,4 | 104 | 204,4 | 116 | 645,0 | 136 | 1775,0 | 160 |
| 65,4 | 106 | 238,8 | 118 | 770,5 | 140 | 2084,0 | 164 |
| 89,4 | 108 | 275,3 | 120 | 915,5 | 144 | unendl. | 180 |

1 In dem Zustande, wo es alles Wasser verloren hat, bis auf das, was es behalten mufs, um nicht pyrophosphorsaures Natron zu werden.

Salmiak.

| pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' | pC. | t' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100° | 19,7 | 103° | 35,7 | 106° | 73,3 | 112° |
| 7,8 | 101 | 25,2 | 104 | 47,3 | 108 | 88,1 | 114 |
| 13,9 | 102 | 30,5 | 105 | 59,9 | 110 | 88,9 | 114,2 |

Marx[1] fand, dafs bei 340 Lin. Barometerhöhe eine Lösung von salpetersaurem Natron, in Wasser von 16°,8 C. gesättigt, bei 101° C.; in Wasser von 56°,2 gesättigt bei 102°,2 und in siedendem gesättigt bei 121° siedete; gesättigte Kochsalzlösung erforderte 107°,4, eine bei 15° gesättigte Salpetersolution 101°,4 und eine bei 100° gesättigte 112° C. zum Sieden. Hierbei scheint indefs der Einflufs des 3 Lin. über dem Mittel betragenden Barometerstandes nicht berücksichtigt worden zu seyn.

Der Ueberblick der hier mitgetheilten Gröfsen führt im Ganzen zu dem Resultate, dafs durch eine verhältnifsmäfsig beträchtliche Quantität Salz die Temperatur nicht eben bedeutend hinaufgerückt wird. Uebrigens sind diese Quantitäten bei den verschiedenen Salzen sehr ungleich und liegen z. B. nach Legrand für eine Temperaturerhöhung von 1° C. zwischen dem Maximum von 26,9 Procent beim neutralen weinsauren Kali und dem Minimum von 7,7 Procent beim Chlornatrium. Es stimmt dieses mit einer andern Erscheinung überein, nämlich dafs der Siedepunct des absoluten Alkohols durch eine nicht bedeutend grofse Menge beigemischten Wassers nach den Erfahrungen von Tralles[2] nur unmerklich erhöht wird.

522) Die mit der gröfseren Sättigung steigende Hitze des Siedepunctes der Salzsolutionen war seit langer Zeit bekannt; weit weniger scheint dieses mit einer andern Erfahrung der Fall gewesen zu seyn, wonach die Hitze des aus ihnen aufsteigenden Dampfes der des reinen Wasserdampfes vollkommen gleich ist. Rudberg[3] war wohl ohne Zweifel der Erste, welcher diesen wichtigen Satz aufstellte und durch entscheidende Ver-

1 Schweigger's Journ. LVII. 402.

2 G. XXXVIII. 365.

3 Poggendorff's Ann. XXXIV. 257. Faraday behauptete schon früher, der aus Salzsolutionen aufsteigende Dampf habe nur 100° C. Wärme, s. Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 325, allein man hielt dieses nach der herrschenden Ansicht für irrig.

suche genügend begründete, denn im Allgemeinen scheint man sich mit der Voraussetzung begnügt zu haben, dafs der aus einer Flüssigkeit aufsteigende Dampf mit dieser eine gleiche Temperatur habe, was auch aus den von ihm angeführten Aeufserungen der bedeutendsten Physiker hervorgeht. Wenn Biot[1] sagt, dafs bei gleicher Wärme die Elasticität der Dämpfe von Salzsolutionen geringer sey, als die der reinen Wasserdämpfe, so soll dieses heifsen, dafs z. B. bei der Siedehitze die Dämpfe des reinen Wassers den atmosphärischen Luftdruck überwinden, was aber die der Solutionen nicht vermögen, da diese dann noch nicht sieden. Gay-Lussac[2] meint, die Temperatur der Dämpfe sey die der obersten Lage der Flüssigkeiten, und Pouillet[3] scheint seines tiefen Eindringens in die Wärmephänomene ungeachtet über dieses Verhalten des Dampfes mit sich selbst nicht im Reinen gewesen zu seyn. Rudberg bediente sich zu seinen Versuchen eines gleichen Apparates, als wovon er zur Auffindung des Siedepunctes der Thermometer Gebrauch machte[4] und welcher hierzu ohne Widerrede vollkommen geeignet ist, verglich die unter ungleichem Luftdrucke erzeugten Dämpfe von reinem Wasser mit dem von mehr oder weniger gesättigten Lösungen des salpetersauren Kalkes, des Salpeters, des kohlensauren Kali's und des salzsauren Kalkes, reducirte die gemessenen Temperaturen auf einen gleichen Barometerstand von 0,76 Meter bei 0° Temperatur, und gelangte dadurch zur Begründung von folgendem wichtigen Satze: *der Dampf, welcher aus einer siedenden Salzlösung aufsteigt, hat durchaus dieselbe Temperatur, als der unter gleichem Luftdrucke aus reinem siedenden Wasser*

1 Traité cet. T. I. p. 285.

2 Leçons de Physique. T. I. p. 416. Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX. p. 394.

3 Élémens de Physique cet. 2me éd. T. I. p. 360; die Stelle steht auch in der 1sten Aufl. T. I. p. 356. „Ainsi dans la dissolution de sel ordinaire, par exemple, la vapeur qui se forme pendant l'ébullition, est à la température de 109° C. et sous la pression de 0m,76; c'est-à-dire que sa tension n'est pas au Maximum, ou plutôt sa tension est un maximum dependant de son contact avec la dissolution et moindre que le maximum absolu.“ In der 3ten Auflage fehlt diese Stelle, und statt dessen wird gesagt, dafs der Dampf der Solutionen reiner Wasserdampf und von diesem nicht verschieden sey.

4 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 898. Fig. 86.

*entwickelte Dampf, um wie viele Grade die Temperatur der Lösung vermöge der Menge und Natur des Salzes auch höher seyn möge.* Eine weitere Untersuchung, welche Rudberg hieran knüpft und durch eine neue Versuchsreihe zu begründen verspricht, läſst sich wohl aus theoretischen Gründen als ausgemacht betrachten. Der bei gleicher Temperatur und unter gleichem Luftdrucke aus nicht siedenden Salzsolutionen aufsteigende Dampf ist kälter und weniger elastisch, als der von reinem Wasser gebildete. Dieses geht aus der einfachen Betrachtung hervor, daſs zwar das reine siedende Wasser eine nahe gleiche Temperatur hat, als der aus ihm gebildete Dampf, die Salzsolution dagegen bedeutend heiſser ist, gleichen Luftdruck vorausgesetzt. Wenn daher beim Sieden der Dampf aus beiden Flüssigkeiten gleiche Temperatur und Elasticität hat, die Wärme der Solution aber nach dem Grade der Sättigung bedeutend höher ist, so müssen die aus beiden gebildeten Dämpfe von ungleicher Temperatur und folglich auch Elasticität seyn, sobald die Wärme beider gleich ist.

523) Steht die Erfahrung hierüber einmal fest, so ist die nächste Aufgabe, dieses allerdings etwas auffallende Verhalten mit bekannten Naturgesetzen in Einklang zu bringen; denn es muſs auffallend seyn, daſs der Dampf der Solutionen eine geringere Temperatur hat, als jene selbst, aus denen er aufsteigt, und von denen er daher eine mit ihnen gleiche Wärme annehmen sollte, wie dieses beim reinen Wasser der Fall ist. Es läſst sich zuvörderst wohl auf keine Weise annehmen, daſs der Dampf der Salzsolutionen, so lange er sich in diesen Flüssigheiten befindet und während er in ihnen aufsteigt, weniger warm seyn sollte, als diese selbst, auch müſste man dieses an einem Thermometer wahrnehmen, wenn dieses in eine mehrere Grade über 100° C. heiſse siedende Flüssigkeit getaucht von einer aufsteigenden groſsen Dampfblase momentan ganz umhüllt würde. Der Dampf hat also in der Solution selbst die dieser eigenthümliche Wärme, verliert diese aber augenblicklich, sobald er die Flüssigkeit verläſst, und nimmt diejenige an, welche dem jedesmaligen Luftdrucke zugehört. Eine solche augenblicklich eintretende Abnahme hat nichts Naturwidriges und zeigt sich auch in der allgemein statt findenden Niederschlagung eines Theils des aus den siedenden Flüssigkeiten aufsteigenden Dampfes, welcher in Dunst verwandelt aufzusteigen pflegt. Ist

einmal erwiesen, daſs der aus Solutionen gebildete Dampf reiner Wasserdampf ist, so muſs er auch ganz die diesem zukommende Elasticität und Dichtigkeit haben, welche beide bei gleichem atmosphärischen Drucke lediglich durch die Wärme bedingt werden, und bei der durch gleichen Druck bedingten gleichen Elasticität muſs daher auch die Temperatur des Dampfes aus Salzsolutionen der des reinen Wasserdampfes gleich seyn. Wäre der erstere wärmer, so wäre er auch elastischer; er würde den äuſseren Druck überwinden, sich mehr expandiren und dadurch bis auf die normale Temperatur herabsinken. Die Frage kommt also darauf zurück, wie es zugehe, daſs der in Salzsolutionen gebildete Wasserdampf in der Flüssigkeit nicht früher aufsteigt, oder daſs diese letztere nicht siedet, bis sie eine ihrer Concentrirung proportionale höhere Temperatur angenommen hat. Prechtl[1] bemüht sich zu zeigen, daſs das durch Rudberg nachgewiesene Verhalten der Dämpfe des Wassers und der Salzsolutionen aus der bis dahin bekannten Theorie der Dampfbildung folge, und auch mit dem von Dalton aufgestellten *Gesetze*[2] übereinstimme, wonach für gleiche Temperaturen über oder unter dem Siedepuncte den Dämpfen aller Flüssigkeiten gleiche Elasticitäten zugehören, Poggendorff[3] dagegen bestreitet dieses. Allerdings ist das durch Rudberg aufgefundene Verhalten der Dämpfe aus den angegebenen Gründen mit der Theorie übereinstimmend, sobald man einmal scharf ins Auge faſst, daſs Elasticität und Dichtigkeit des Wasserdampfes ausschlieſslich durch die Temperatur bedingt werden, der Dampf der Salzsolutionen aber reiner Wasserdampf ist; allein ebenso unbestreitbar steht fest, daſs man vorher anderer Meinung war, und die Thatsache erst durch Rudberg aufgefunden wurde, bevor man sie mit der Theorie der Dämpfe im Einklang erkannte. Sehr richtig bemerkt Prechtl, daſs die

---

1 Poggendorff's Ann. XXV. 119. 620.

2 Vergl. *Dampf*. Bd. II. S. 354. Prechtl ist geneigt, die Gültigkeit dieses Gesetzes im Allgemeinen anzunehmen, und zeigt diese in der Anwendung auf die Dämpfe des Schwefeläthers; allein bei einigen Flüssigkeiten zeigt sich dasselbe allerdings anwendbar, bei andern dagegen nicht. Gegen die Gültigkeit dieses Gesetzes erklärt sich auſserdem Marx in Schweigger's Journ. LXII. 486 und Avogadro in Poggendorff's Ann. XXVII. 76.

3 S. Anmerkungen zu den angegebnen Stellen.

Dämpfe von Alkohol, Terpentinspiritus u. s. w. gleiche Temperatur mit den Flüssigkeiten haben, aus denen sie gebildet werden, dafs sie aber zugleich nach der Condensation wieder zu diesen Flüssigkeiten werden, statt dafs die Dämpfe der Salzsolutionen nicht diese, sondern reines Wasser geben und sich daher auch nur wie Wasserdämpfe verhalten können.

So viel mir bekannt, ist noch keine Erklärung dieses erst neuerdings näher untersuchten Verhaltens gegeben worden, und es wird daher erlaubt seyn, auf einige Puncte aufmerksam zu machen, die hierbei in Betrachtung kommen. Nicht unbeachtet darf der Umstand bleiben, dafs alle im Wasser nicht auflösliche Körper in kleineren oder gröfseren Massen das Sieden des Wassers erleichtern (§. 519). Alle diese Substanzen zeigen die Eigenthümlichkeit, dafs sie das an ihnen hängende und selbst das in ihre Poren eingedrungene Wasser mehr oder minder leicht verdunsten lassen, d. h. die äufsere einwirkende Wärme verbindet sich damit, verwandelt es in Dampf und entzieht es ihnen auf diese Weise. Ganz diesem entgegengesetzt ist das Verhalten der Salze, zwar der einen mehr als der andern, im Ganzen aber haben sie alle, sofern sie im Wasser auflöslich sind, eine stärkere Anziehung zu diesem, als die nicht auflöslichen Körper; sie ziehen den Wasserdampf aus der Luft bei mittlerer Feuchtigkeit an, statt dafs die unauflöslichen Körper ihn abgeben, und zwar oft mit solcher Gewalt, dafs sie dadurch zerfliefsen. Wird dann ihren Lösungen im Wasser Wärme zugeführt, so ist die der Siedehitze des Wassers zugehörige Menge derselben, die wir durch T bezeichnen wollen, erforderlich, um die Verwandlung in Dampf zu bewirken, aufserdem mufs aber noch eine gewisse Quantität Wärme, welche t heifsen möge, hinzukommen, um die Verwandtschaft des Wassers zu ihnen aufzuheben und dieses von ihnen loszureifsen, so dafs ihr Siedepunct $T + t$ seyn mufs. Der Werth von T ist durch den Barometerstand bedingt, die Gröfse t dagegen hängt von der Beschaffenheit des Salzes und der Quantität ab, in welcher es dem Wasser zugesetzt ist, vollständige Lösung desselben vorausgesetzt.

524) In sehr nahem Zusammenhange hiermit steht eine andere Aufgabe, nämlich über die Siedehitze gemischter Flüssigkeiten und die Temperatur des aus ihnen beim Sieden aufsteigenden Dampfes. Die Beantwortung dieser Frage ist mit einer

grofsen Menge meistens unüberwindlicher Schwierigkeiten verbunden, worin wohl der Grund liegen mag, dafs hierfür bisher so wenig geschehen ist. Von den zwei vereinten Flüssigkeiten[1] siedet stets die eine leichter als die andere, und obgleich die gebildeten Dämpfe in der Regel aus beiden zusammengesetzt sind, so behalten sie doch das quantitative Mischungsverhältnifs der Flüssigkeit nicht auf die Dauer, sondern von der einen verdampft mehr, als von der andern, und die Beschaffenheit der siedenden Flüssigkeit ändert sich daher in jedem Augenblicke; die Resultate werden hierdurch verschieden, und ohne sehr zusammengesetzte Messungen kann man nicht wissen, welchen Mischungsverhältnissen sie zugehören. Wir müssen uns also in Beziehung auf diese Aufgabe mit den wenigen bis jetzt bekannt gewordenen Thatsachen begnügen.

Befinden sich zwei Gasarten in einem begrenzten Raume vereint, so ist ihre Elasticität der Summe der Elasticitäten beider gleich. Eben dieses findet statt, wenn eine Gasart mit Dampf vereint wird, namentlich ist es der Fall bei den Verbindungen von Luft und Wasserdampf[2], und so läfst sich schon der Analogie nach schliefsen, dafs sich bei gemischten Dämpfen das nämliche Verhalten zeigen werde. Aus meinen Versuchen über die Vereinigung verschiedener Dämpfe[3] geht indefs hervor, dafs, wenn zwei Arten Dampf von den Spannungen $p$ und $p'$ in einem abgeschlossenen Raume vereinigt werden, ihre gemeinschaftliche Spannung nicht $= p + p'$, sondern um eine unbedeutende Kleinigkeit geringer sey. Das Gegentheil fand Gay-Lussac[4] rücksichtlich der vereinten Quantitäten; denn da bei 100° C. und 0,76 Meter Luftdruck 1 Gramm Wasser 1,696 Liter Dampf giebt, eine gleiche Menge absoluter Alkohol aber 0,659 Liter, so mufsten beide vereint $\frac{1{,}696 + 0{,}659}{2} = 1{,}178$ Liter für 1 Gramm der Mischung beider geben, wogegen die Messung 1,1815 zeigte. Wurden 1 Th. Wasser und 2 Th. absoluter Alkohol gemischt, so mufste 1 Gramm der Mischung

1 Die Erscheinungen, welche mehrere vereinte Flüssigkeiten darbieten, sind bis jetzt noch gar nicht eigentlich untersucht worden.

2 Vergl. Art. *Gas*. Bd. IV. S. 1034.

3 Physikalische Abhandl. Giefs. 1816.

4 Ann. de Chim. T. XCV. p. 314. Biot traité. T. I. p. 298.

$\frac{1,696 + 1,318}{3} = 1,005$ Liter Dampf geben, der Versuch zeigte aber 1,0056 Liter. Welches von diesen Resultaten das richtige sey und ob nicht vielmehr die Wahrheit zwischen beiden Fehlern in der Mitte liege, läfst sich ohne neue Versuche nicht entscheiden. Der Analogie nach, sofern fast ohne anderweitig bedingte seltene Ausnahmen alle vereinte Körper sich durch gegenseitige Anziehung verdichten, ist auf jeden Fall nicht wahrscheinlich, dafs eine Vergröfserung des Volumens durch Vereinigung von Dämpfen eintreten sollte, und wir können also mit genügender Annäherung annehmen, dafs die Elasticität gemischter Dämpfe im unveränderten Raume höchstens der Summe ihrer beiderseitigen Elasticitäten gleich sey. Hiermit vereinbar ist ein anderes Resultat, welches uns der eigentlichen vorliegenden Aufgabe näher bringt. Befindet sich im Torricelli'schen Vacuum über dem Quecksilber eine leichter siedende Flüssigkeit, ist also der leere Raum mit dem der statt findenden Temperatur proportional dichten Dampfe erfüllt, und läfst man durch das Quecksilber eine schwerer siedende, mit der leichtern mischbare Flüssigkeit aufsteigen, so vermindert sich der früher erfüllte Raum. Die Ursache hiervon liegt nicht fern; die zu der leichter siedenden Flüssigkeit hinzutretende schwerer siedende Flüssigkeit verändert den früher tiefer liegenden Siedepunct, rückt ihn höher hinauf und vermindert dadurch die Elasticität des bereits gebildeten Dampfes. Eben dieser Erfolg tritt ein, wenn das Torricelli'sche Vacuum mit Wasserdampf erfüllt ist und zu dem nicht verdampften Antheile Wasser ein auflösliches Salz oder eine Salzsolution gebracht wird.

525) Eben so einfach und genau hiermit übereinstimmend sind die Erscheinungen, welche sich beim Sieden gemischter Flüssigkeiten zeigen. Gay-Lussac[1] äufsert sich hierüber der allgemeinen Ansicht gemäfs, indem er sagt: der Siedepunct eines Gemenges zweier flüchtigen Flüssigkeiten, welche keine chemische Einwirkung auf einander äufsern, kann variiren, ist aber im Allgemeinen eingeschlossen zwischen zwei Grenzen, nämlich zwischen dem Siedepuncte der flüchtigsten Flüssigkeit und der Temperatur, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX. p. 393. Poggendorff's Ann. XXV. 498.

beider Flüssigkeiten gleich ist dem Druck der Atmosphäre. Man kann dieses nicht wohl anders verstehn, als dafs die Temperatur des Siedepunctes der flüchtigsten Substanz die unterste Grenze bilde, also das Sieden bei einer Temperatur statt finde, als wenn diese allein vorhanden wäre, von hier an aber nach dem quantitativen Verhältnisse und der Beschaffenheit der beigemischten Flüssigkeit stets höher hinaufrücke. Der Zusatz, dafs die Flüssigkeiten keine chemische Wirkung auf einander ausüben sollen, darf nicht unbeachtet bleiben; es ist aber eine nicht leichte Aufgabe, zu entscheiden, ob bei solchen Flüssigkeiten, die sich sehr innig mit einander verbinden, z. B. beim Weingeist und Wasser, überall keine chemische Einwirkung statt finde, die übrigens dann in ihren Folgen sich zeigen müfste, wenn die Beschaffenheit beider vereinter Flüssigkeiten eine wesentliche Veränderung erleidet. Ist die ausgesprochene Ansicht richtig, dafs hiernach die niedrigste Temperatur oder die unterste Grenze des Siedens diejenige sey, bei welcher die flüchtigste Substanz siedet, wie dieses namentlich bei einem Gemisch aus Alkohol und Wasser der Fall ist, dessen Siedehitze von der des absoluten Alkohols bis zu der des reinen Wassers hinaufrückt, so können die durch Liebig[1] gemachten Erfahrungen nicht anders, als für Anomalieen gelten. Er fand nämlich, dafs das Oel, welches aus einer Verbindung gleicher Volumina von Chlor und ölbildendem Gase entsteht, für sich bei 82°,4 C. siedet, mit Wasser vereint aber nie eine höhere Temperatur als 75°,6 erreicht, und ebenso siedet Chlorkohlenstoff für sich bei 60°,8, mit Wasser gemischt aber bei 57°,3. Dieses abweichende Verhalten verdient eine nähere Untersuchung, und namentlich müfste erforscht werden, von welcher Beschaffenheit die aus den gebildeten Dämpfen niedergeschlagene Flüssigkeit seyn mag[2].

---

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 277.

2 Es verdient bemerkt zu werden, dafs Gay-Lussac a. a. O. dieses Resultat mit dem von ihm aufgestellten Gesetze übereinstimmend findet. Vermuthlich geht er davon aus, dafs die Summe der Spannkräfte des Dampfes von Chlorkohlenstoff und von Wasser, beide bei 57°,3, der Spannung der Luft unter 0,76 Meter Druck gleich seyn und daher das Sieden erfolgen könne; allein dann müfste auch der Siedepunct des gemischten Alkohols unter dem des reinen Alkohols und der der verdünnten Schwefelsäure unter dem des reinen Wassers liegen.

526) Eine in diesem wenig bearbeiteten Felde sehr schätzbare Untersuchung hat MAGNUS[1] mitgetheilt. Zuerst erwähnt er das eben aufgestellte Gesetz von GAY-LUSSAC, versteht es aber so, dafs der niedrigste Kochpunct gemischter Flüssigkeiten derjenige seyn soll, welcher durch die Summe der Elasticitäten des Dampfes beider gegeben wird, der höchste aber derjenige, welcher der flüchtigsten unter ihnen zugehört, seine Versuche aber ergaben, wie leicht begreiflich, das Gegentheil. Die befolgte Methode wird nicht im Einzelnen beschrieben; ist es aber der Zweck, durch Versuche dieser Art völlig scharfe Resultate zu erhalten, so wird ein solcher Apparat erfordert, als dessen sich RUDBERG (§. 522) bediente, und es würde zugleich zweckmäfsig seyn, denselben auf eine solche Weise abzuändern, dafs das Thermometer abwechselnd dem Dampfe ausgesetzt und in die Flüssigkeit selbst herabgelassen werden könnte. Auf jeden Fall mufs der Dampf, namentlich der von leicht siedenden Flüssigkeiten, zusammengehalten und gegen äufsere Abkühlung geschützt werden, wenn man seine Temperatur genau messen will. Bei Mischungen von Wasser mit flüchtigen Oelen und Schwefelkohlenstoff war die Temperatur des Siedepunctes stets etwas höher, als die Wärme der am leichtesten siedenden Flüssigkeit, und blieb ungeändert, so lange noch ein Theil der letztern vorhanden war. Die Temperatur des Dampfes zeigte sich stets etwas niedriger, als die der siedenden Flüssigkeit, und blieb gleichfalls unverändert, so lange die eben angegebene Bedingung noch statt fand. Eine Mischung aus frisch rectificirtem Terpentinspiritus und Wasser siedete unter 0,7496 Met. Luftdruck bei 102° C., der Dampf zeigte aber nur 94°,5; Schwefelkohlenstoff und Wasser siedete unter 0,7522 Meter Luftdruck bei 47° C. und der Dampf zeigte 43°,5. MAGNUS argumentirt ganz richtig, aber der Ansicht GAY-LUSSAC's nach seiner Deutung derselben zuwider, dafs das Sieden nicht früher eintreten könne, als bis die Dämpfe des flüchtigsten Antheils die erforderliche Spannung erhalten hätten, um den Luftdruck zu überwinden. Bildet die flüchtigste Substanz die unterste Schicht, so kommt der Druck der Wasserschicht noch hinzu, welcher aufser dem Luftdrucke überwunden werden mufs, und die Temperatur des Siedens war auch bei den genannten Ver-

---

1 Poggendorff's Ann. XXXVIII. 481.

suchen ungefähr diejenige, welche dieser Summe zugehörte. Die obere Schicht mufs nothwendig die Temperatur der unteren erhalten haben, weil sonst die aus der letzteren aufsteigenden Dampfblasen abgekühlt werden müfsten und nicht aufsteigen könnten, weswegen die Mischung im Ganzen nahe genau die dem Siedepuncte der flüchtigern zugehörige Temperatur annimmt. Steigen die Dampfblasen durch die obere Flüssigkeit, so nehmen sie von dieser solchen Dampf auf, welcher eine ihrer Temperatur angemessene Spannung hat, und es tritt also das oben (§. 524) angegebene Verhalten gemischter Dämpfe ein, was sich in den Versuchen von Magnus auch dadurch zeigte, dafs aus dem aufsteigenden Dampfe Schwefelkohlenstoff und Wasser niedergeschlagen wurde, so lange noch Schwefelkohlenstoff vorhanden war; nach dem Verschwinden des letzteren hörte aber das Sieden auf, die Wärme der Flüssigkeit stieg, aber es ging kein Destillat mehr über. Nach der richtigen, nicht immer anerkannten, Theorie war die Wärme der oberen Schicht stets etwas höher, als die Temperatur des Siedepunctes der unteren flüchtigeren Schicht, selbst als eine sehr dünne Lage Schwefelkohlenstoff sich unter einer drei Zoll hohen Wasserschicht befand. Bildet die leichter siedende Flüssigkeit die obere Schicht, so siedet sie, als wäre sie unabhängig von der unteren; doch giebt es solche, sich nicht mischende Flüssigkeiten sehr wenige, und die Versuche konnten daher nur mit Quecksilber und Wasser oder Oelen oder mit Wasser und Caoutchoucine angestellt werden, welche letztere, wie für sich allein, ihren Kochpunct stets änderte.

Sind die vereinten Flüssigkeiten mit einander mischbar, so ändert sich der Siedepunct stets, und die erzeugten Dämpfe haben ein anderes Mischungsverhältnifs, als die Flüssigkeiten; dock kann auch letzteres von der Art seyn, dafs beide einander gleich sind. Magnus glaubt daher, dafs die Mischung nicht als ein neu entstandenes homogenes Ganzes zu betrachten sey, weil sonst die niedergeschlagenen Dämpfe dasselbe wiedergeben müfsten, sondern dafs beide eine gegenseitige Anziehung auf einander ausüben, in deren Folge die flüchtigere verhindert wird, schon durch diejenige Wärme zum Sieden gebracht zu werden, bei welcher sie für sich allein siedet. Dafs eine solche mehr oder minder starke Anziehung existire und auf die Dampfbildung einen Einflufs ausübe, läfst sich nach der Ana-

logie mit ähnlichen Erscheinungen und nach bekannten Erfahrungen nicht in Abrede stellen; denn ebenso, wie aufgelöste Salze den Siedepunct des Wassers höher hinaufrücken, ist dieses auch der Fall bei Alkohol durch einen Zusatz von Wasser. Magnus wiederholte auch die früher von Andern angestellten Versuche, gemischte Dämpfe in das Torricelli'sche Vacuum zu bringen. Bei 17°,5 liefs er Schwefeläther durch das Quecksilber in eine Barometerröhre aufsteigen und brachte, nachdem das Maximum der Spannung eingetreten war, etwas Alkohol hinzu, wodurch die Elasticität des Aetherdampfes sich verminderte und durch Vermehrung des Alkohols fast bis zu derjenigen herabging, welche den Dämpfen des letzteren bei der gegebenen Temperatur zugehört. Dieselben Erscheinungen zeigten sich, wenn statt des Alkohols Terpentinspiritus und statt des Aethers Schwefelkohlenstoff oder Caoutchoucine angewandt wurde. Dabei ist aber erforderlich, dafs von beiden Flüssigkeiten, aufser ihren Dämpfen, noch Theile im tropfbar-flüssigen Zustande vorhanden sind.

527) Ueberblicken wir nochmals das Ganze, so sind die sich darbietenden Phänomene allerdings sehr verwickelt, allein es bieten sich dennoch einige Anhaltpuncte dar, die zur Erleichterung der genaueren Kenntnifs der Sache dienen können. Vor allen Dingen dürfen wir das Verhältnifs der Spannungen der vereinten elastischen Flüssigkeiten und der Räume, die sie einnehmen, nicht unberücksichtigt lassen. Bringt man zur Luft unter atmosphärischem Drucke Wasserdampf in einem verschlossenen Raume, so wird ohne Aenderung der Temperatur die Elasticität des Gemenges um ebenso viel steigen, als das Volumen desselben bei unverändertem äufserem Drucke sich vergröfsern würde. Ist diese Vergröfserung des Volumens eingetreten, so nimmt man gewöhnlich an, die Elasticität der Luft sey um so viel vermindert, als die hinzugekommene des Dampfes betrage, so dafs, wenn letztere $p'$, die gesammte Elasticität aber P genannt wird, die Elasticität der Luft $= P - p' = p$ sey, woraus $p + p' = P$ oder der Satz folgt, dafs der gesammte Druck der Summe der beiden Pressungen gleich sey. Dieses Gesetz wird aber sehr durch die Rücksicht auf den Raum bedingt. Denkt man sich nämlich bei unverändertem Rauminhalte den Wasserdampf weggenommen und durch ein kleines Volumen eines festen Körpers ersetzt, so würde die rückbleibende

Luft offenbar dem Drucke der äufseren atmosphärischen widerstehn, und eben dieses würde beim Wasserdampfe statt finden müssen, wenn man den Raum der Luft durch einen festen Körper zu ersetzen vermöchte; beide müssen daher eine der äufseren gleiche Spannung haben. Auf dieses Verhalten gründete Dalton das nach ihm benannte Mischungsgesetz expansibler Flüssigkeiten [1], wobei er jedoch übersah, dafs die vereinten elastischen Flüssigkeiten durch gegenseitige Anziehung ihrer Molecüle überall gleichmäfsig gemischt sind. Soll der Dampf dem äufseren Drucke widerstehn, so mufs er nothwendig die diesem Drucke zugehörige Temperatur haben. Am deutlichsten zeigt sich dieses beim Wasserdampfe, dessen Temperatur bei unverändertem Luftdrucke so constant ist, dafs sie mit absoluter Sicherheit zur Bestimmung des Normalpunctes der Thermometer dienen kann, und es würde dieses sich auf gleiche Weise bei den Dämpfen aller einfachen Flüssigkeiten zeigen, wenn man es der Mühe werth gehalten hätte, gleich genaue Untersuchungen hierüber anzustellen. Da beim Processe des Siedens die Dämpfe frei aufsteigen und dabei den atmosphärischen Druck überwinden sollen, so müssen sie bei ihrem Entstehen nothwendig die dieser Elasticität zugehörige Temperatur haben, letztere mufs aber noch etwas erhöhet werden, weil aufser dem atmosphärischen Luftdrucke noch derjenige überwunden werden mufs, welchen die Flüssigkeitsschicht darbietet. Ist demnach die Siedehitze des Dampfes $= T$, so mufs die der Flüssigkeit $= T + t$ seyn, wie Rudberg [2] genügend auseinandergesetzt hat. Beim Wasser und bei anderen nicht minder flüchtigen Flüssigkeiten ist der Werth von t sehr unbedeutend; denn theils ist das Gewicht der zu hebenden Schicht an sich nur gering, theils folgen die aufsteigenden Dampfblasen einander so schnell, dafs wegen der fortdauernden Bewegungen der Flüssigkeit ihr Druck fast gänzlich verschwindet, weswegen auch die Wärme des Dampfes und die der oberen Flüssigkeitsschichten nicht merklich verschieden sind. Sind Salze im Wasser aufgelöst, so mufs der aufsteigende Dampf, um dem äufseren Luftdrucke zu widerstehn, die Siedehitze des reinen Wasserdampfes haben, eine schätzbare, durch Rudberg fest begründete Erweiterung

1 S. Art. *Atmosphäre.* Bd. I. S. 488.

2 Poggendorff's Ann. XL. 52.

unserer Kenntnisse über das Verhalten der Dämpfe; die Temperatur der Auflösung mufs $= T + t + t'$ seyn, worin $t'$ zur Ueberwindung der Kraft gehört, womit die Flüssigkeit durch das Salz angezogen wird, und wenn man $T + t + t' = T'$ setzt, so ist die Temperatur des Dampfes $= T' - (t' + t)$ oder ($t$ als verschwindend klein angenommen) $= T' - t'$. Sind zwei Flüssigkeiten vereint, die sich nicht mit einander vermischen, so bin ich der Ansicht, dafs der Dampf derselben diejenige Hitze haben müsse, welche der Dampf der flüchtigsten unter ihnen erfordert, um dem atmosphärischen Drucke zu widerstehn. Nennen wir die Siedehitze der leichter siedenden Flüssigkeit $\Theta$, so ist die Temperatur des Dampfes $= \Theta - (t + t')$, und da in diesem Falle $t'$ verschwindend klein ist, so wird für den Fall, dafs die flüchtigere Substanz sich oben befindet, also für ein gleichfalls verschwindendes $t$, die Hitze des Dampfes $= \Theta$ d. h. bis auf eine Kleinigkeit der siedenden Flüssigkeit gleich seyn; für den Fall aber, wenn die leichter siedende Flüssigkeit die untere Schicht bildet, mithin nicht blofs der Druck, sondern auch der Zusammenhang der oberen Schicht überwunden werden mufs, also $t$ einen gröfsern Werth erhält, ist die Siedehitze der Flüssigkeit $= \Theta + t$, die des Dampfes dagegen $= \Theta$. Sind beide Flüssigkeiten mischbar, so müfste die Temperatur des gemischten Dampfes $= \Theta$ seyn, d. h. diejenige, bei welcher der Dampf der flüchtigsten dem atmosphärischen Drucke zu widerstehn vermag, die der siedenden Flüssigkeit aber $= \Theta + t'$, wenn $t$ als unbedeutend vernachlässigt wird. Dabei wäre dann der zugleich mit bestehende Dampf der minder flüchtigen Flüssigkeit in einem gleichen Zustande befindlich zu betrachten, als der mit atmosphärischer Luft verbundene Wasserdampf, d. h. könnte man den von ihm eingenommenen Raum durch einen indifferenten festen Körper ausfüllen, so würde der Dampf der leichter siedenden Flüssigkeit für sich allein dem atmosphärischen Drucke widerstehen müssen. Hierbei wächst die Gröfse $t'$ mit der verhältnifsmäfsig grofsen vorhandenen Menge der schwerer siedenden Flüssigkeit; denn es ist ein bekanntes Naturgesetz, dafs gröfsere Massen gegen verhältnifsmäfsig kleinere eine stärkere Anziehung ausüben. So verbreitet sich ein einziger Tropfen Oel über eine grofse Wasserfläche, die letzten Antheile Wasser sind nur mit grofser Mühe vom Quecksilber zu trennen u. s. w. Aus dieser Ursache wird erklärlich, warum nach

Tralles (§. 521) ein kleiner Zusatz von Wasser den Siedepunct des Alkohols nur wenig erhöht, bei vorhandner gröſserer Menge steigt derselbe aber allmälig bis zu dem, welcher dem reinen Wasser zukommt. Hiernach kann der Siedepunct vereinter Flüssigkeiten nie tiefer liegen, als der, welcher der flüchtigsten angehört, und die von Liebig beobachteten Erscheinungen sind also ganz eigentliche Anomalieen, deren Erklärungsgrund erst gesucht werden muſs, wenn wir nicht annehmen wollen, daſs eben durch die Einwirkung der Wärme eine neue, leichter siedende Flüssigkeit gebildet wird. Läſst man endlich zu dem im Torricelli'schen Vacuum befindlichen Dampfe, welcher sich noch über seiner Flüssigkeit befindet, eine andere, mit letzterer mischbare Flüssigkeit aufsteigen, so bildet sich ein gemischter Dampf, dessen Elasticität einer Temperatur der Füssigkeit $= \Theta + t'$ zugehört. Hatte der einfache Dampf vorher diejenige Elasticität, welche der Temperatur $\Theta'$ zugehörte, so erlangt er jetzt eine der Temperatur $\Theta' - t'$ zugehörige; er muſs daher minder elastisch werden, also der von ihm eingenommene Raum sich vermindern. Die meisten dieser Sätze stimmen mit bekannten Erfahrungen überein, andere aber, namentlich die Temperaturen der Dämpfe gemischter Flüssigkeiten betreffend, verdienen erst durch genaue Versuche näher geprüft zu werden.

528) Es war bereits oben (§. 521) von dem *heftigen Stoſsen* die Rede, welches Salzsolutionen vor und nach dem angefangenen Sieden zeigen und man durch hineingeworfene Stücke Metall zu beseitigen pflegt. Die Sache ist allgemein bekannt, ich selbst habe die Erscheinung oft wahrgenommen, aber nur dann, wenn das Sieden noch nicht begonnen hatte und noch etwas unaufgelöstes Salz vorhanden war; nach eingetretenem heftigen und anhaltenden Sieden fand dasselbe nicht mehr statt, war aber in einem Falle einst so stark, daſs ein auf einer Metallplatte stehendes Medicinglas hoch in die Höhe geschleudert wurde und zerbrach. Gay-Lussac[1] war wohl der Erste, welcher in neuerer Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker auf diese Detonation der Dämpfe (*Soubresot*) lenkte und eine Erklärung davon gab. Das Phänomen zeigt sich nach seiner Erfahrung dann, wenn die ruhigen Flüssigkeiten ohne aufsteigende

1 Ann. de Chim. et Phys. 1818. Mars.

Dampfblasen über ihren Siedepunct erhitzt werden, und namentlich sind die Stöfse bei der Schwefelsäure so heftig, dafs eine Destillation derselben ohne Gefahr, den Apparat zertrümmert zu sehen, nicht bewerkstelligt werden kann. Gay-Lussac fand aber sofort das genügende Mittel auf, diesem Uebel vollständig zu begegnen, denn als er einige Stücke Platindraht hineinwarf, ging die Destillation ruhig von statten. Die Stöfse haben eine auffallende Aehnlichkeit mit den oben (§. 517) erwähnten, von mir beobachteten, die sich an die Erscheinung des sogenannten Simmerns anreihen lassen. Magnus[1] nahm bei seinen erwähnten Versuchen ein diesem ähnliches, wo nicht gleiches, Phänomen wahr, und seine Erfahrung kann als ein schätzbarer Beitrag zur Erklärung desselben dienen. Es zeigte sich häufig dann, wenn die leichter siedende Flüssigkeit die unterste Schicht bildete, und war von solcher Heftigkeit, dafs oft der Versuch unterbrochen werden mufste, um das Zertrümmern des Gefäfses zu verhüten. Er brachte darauf die Kugel eines Thermometers dicht unter die oberste Flüssigkeit, und sah dann das Thermometer vor dem Stofse um mehrere, selbst 3° bis 5°, je sogar 10° C. über den Kochpunkt der unteren Flüssigkeit steigen, bis eine starke Dampfblase heftig die obere Schicht durchbrach und das Thermometer wieder auf den Siedepunct der unteren Flüssigkeit herabsank, worauf es sich so lange erhielt, als die Dämpfe ungehindert aufstiegen. Hiernach glaubt er, dafs die Dampfbildung durch den Zusammenhang der oberen Schichten gehindert wird, selbst wenn die Temperatur weit über den Siedepunct hinausgerückt ist, bis der gebildete Dampf den Zusammenhang gewaltsam durchbricht. Befindet sich in der Flüssigkeit ein Platindraht oder nur ein Eisendraht[2], selbst wenn dieser nicht in die obere Schicht hinaufragt, so findet das Stofsen nicht statt, und wenn auch die obere Schicht aus dickem, ohne Draht nicht zum Sieden zu bringenden Terpentinöl besteht. Man mufs sich indefs hüten, den Draht unmittelbar vor dem Sieden in die Flüssigkeit zu werfen, weil diese sonst mit Heftigkeit aus dem Gefäfse geschleudert wird.

Ob die Ursache dieses Phänomens ohne weitere Modifica-

---

1 Poggendorff's Ann. XXXVIII. 491.

2 Legrand §. 517 fand Zink und nächstdem Eisen am wirksamsten.

tion blofs in dem Zusammenhange der oberen Flüssigkeit liege, dürfte durch die Thatsache zweifelhaft werden, dafs es durch einen blofs von der unteren Schicht umgebenen, in die obere gar nicht hinaufragenden Draht aufgehoben wird, welcher doch unmöglich den Zusammenhang der oberen, ohne sie zu berühren, verringern oder aufheben kann. Noch kommt das Argument hinzu, dafs sich das Stofsen auch bei Salzsolutionen, bei Schwefelsäure und sonstigen Flüssigkeiten zeigt, wo keine zwei über einander gelagerte Schichten vorhanden sind. Allerdings mufs der Zusammenhang der oberen Schichten unterbrochen werden, mögen diese aus einer gleichartigen Flüssigkeit bestehen, wie bei Salzsolutionen, oder aus einer ungleichartigen, wie bei den Versuchen von Magnus, allein das Phänomen ist etwas zusammengesetzter. Die Flüssigkeiten sind, wie Magnus ausdrücklich bemerkt, vor dem Stofsen in vollkommner Ruhe, und es bildet sich plötzlich eine grofse Dampfblase, die den heftigen Stofs erzeugt. Offenbar sind also die Theilchen der Flüssigkeit in festem Zusammenhange und dieser hindert die Bildung des Dampfes, welcher aber, plötzlich in bedeutender Menge sich losreifsend, den Stofs durch Ueberwindung des Widerstandes der oberen Flüssigkeitsschicht erzeugt. Ist ein Metalldraht vorhanden, so nimmt dieser die bestehende Wärme an, und es bilden sich aus den ihn berührenden Theilen der Flüssigkeit allmälig kleine Dampfblasen, welche aufsteigen und den Zusammenhang der oberen Schicht mit Leichtigkeit durchbrechen. Genau erwogen genügt dieses zwar, um die Trennung des Zusammenhanges der oberen Schichten durch die kleineren aufsteigenden Dampfblasen zu erklären und die Möglichkeit nachzuweisen, dafs hierdurch das Stofsen verhütet werde, welches allezeit nur in Folge grofser und plötzlich sich erhebender Dampfblasen eintritt, keineswegs ist aber bisher ein befriedigender Grund angegeben worden, aus welchem die Heftigkeit des Stofsens überhaupt abzuleiten wäre; denn wenn wir uns auch den Zusammenhang der oberen Schichten noch so stark vorstellen, so kann doch das Durchbrechen derselben unmöglich eine solche Wirkung erzeugen, als man in der Heftigkeit der Stöfse gewahrt. Diese Schwierigkeit dürfte aber wegfallen, wenn man sich an die merkwürdigen, durch Clement[1] zuerst beachteten

---

1 Vergl. Art. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 679.

Erscheinungen erinnert. So wie hierbei der äufsere Luftdruck selbst Metallplatten mit grofser Heftigkeit gegen die Oeffnung treibt, aus welcher die Luft oder der Dampf fortwährend ausströmt, mufs derselbe auch die Flüssigkeit in den Raum hineinstofsen, aus welchem die grofse Luftblase aufgestiegen ist, und zwar mit noch gröfserer Gewalt, weil der heifse Dampf seine Wärme abgiebt, und daher das Vacuum ungleich stärker wird, als durch die rasche Bewegung der Luft bei jener Erscheinung. Obendrein kommt noch der Umstand hinzu, dafs die Dampfbildung an der Stelle, von wo die Blase aufsteigt, momentan aufhört und die dadurch über den Siedepunct der Flüssigkeit erhitzte Stelle, wie im Leidenfrost'schen Versuche (§. 271), keinen Dampf weiter erzeugt, dagegen den vorhandenen durch höhere Wärme stärker ausdehnt, bis der heftige Stofs die Flüssigkeit mit ihr wieder in Berührung gebracht hat.

529) Dieses Phänomen hängt mit einem andern zusammen, welches hier sofort zur Untersuchung kommen möge. Es ist nämlich eine bekannte Sache, dafs Flüssigkeiten, vorzüglich die flüchtigeren, in einem offenen weiten Gefäfse bei weit niedrigeren Temperaturen sieden, als in engen Glasröhren, am höchsten aber läfst sich die Hitze vor dem Sieden treiben, wenn sie in einer Kugel eingeschlossen sind, an der sich eine enge Thermometerröhre befindet. Dieses eigenthümliche und anscheinend abnorme Verhalten fiel mir vorzüglich auf, als ich bei den Versuchen über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten[1] die Hitze des Schwefeläthers, welcher in der halbgefüllten Kugel jederzeit bei 35° C. siedete, bei gänzlicher Anfüllung derselben und des gröfsten Theils des Röhrchens bis 40°, ja sogar einmal bis 50° C. steigerte, worauf dann aber, ohne vorausgegangenes Aufwallen oder eigentlich sogenanntes Sieden, die gesammte Masse in einem fontainenartigen Strahle aus dem Apparate geschleudert wurde. Bei rectificirtem Steinöl zeigte sich die nämliche Erscheinung, denn auch dieser liefs sich bis 100° C. erhitzen, ungeachtet sein Siedepunct bei 85°,5 liegt, und ebenso liefs sich der Schwefelkohlenstoff, dessen Siedepunct bei 46°,6 C. liegt, bis 65° erhitzen[2]. Aehnliche Erscheinungen sind

1 Mém. prés. à l'Acad. de Petersb. T. I. p. 342.

2 Sur la dilatation de l'Alcool absolu cet. ibid.

so oft beiläufig beobachtet worden, dafs ich es für überflüssig halte, mehrere Beispiele anzuführen; zur Erzeugung derselben dienen aber verschiedene vereinte Ursachen. Die wesentlichste unter diesen ist die Adhäsion des dünnen Flüssigkeitscylinders im engen Röhrchen an den Wandungen des Glases, welche bekanntlich stärker ist, als die Adhäsion der Theilchen der Flüssigkeit unter einander; die Masse der Flüssigkeit in diesem engen Cylinder ist verschwindend klein gegen die anziehende Oberfläche. Aufserdem aber befindet sich die Flüssigkeit in völliger Ruhe, ein einzelnes Bläschen kann die Theilchen derselben nicht verdrängen und sich einen Weg zum Aufsteigen bahnen, findet überhaupt keinen Raum, sich zur ursprünglichen Bildung auszudehnen, weswegen auch das Sieden mit einem Heraustreiben der gesammten Flüssigkeit beginnt. Es kommt indefs noch diejenige Ursache hinzu, woraus so eben das Stofsen der Salzlösungen und gemischten Flüssigkeiten erklärt wurde, nämlich die Adhäsion der Dampftheilchen an die Theilchen der Flüssigkeit selbst, welche bewirkt, dafs die Wärme bedeutend gesteigert werden mufs, um dieses Hindernifs zu überwinden. In dieser Hinsicht ist dieses Verhalten dem hinlänglich bekannten analog, wonach das Wasser viele Grade unter seinen Gefrierpunct erkalten kann, ohne dafs die ersten Eiskrystalle erzeugt werden. Sehr nahe liegt endlich der Druck der Flüssigkeitssäule, welche sich im Röhrchen befindet; allein da die Höhe derselben nur etwa 6 bis 10 Zoll betrug, namentlich der Schwefeläther aber nur ein geringes specifisches Gewicht hat, so dürfte die allerdings statt findende Mitwirkung dieser Ursache nicht hoch anzuschlagen seyn.

530) Die wesentlichste Bedingung der Temperatur des Siedepunctes aller Flüssigkeiten ist der jederzeitige Luftdruck oder der Druck, welchen jeder auf die Oberfläche der erwärmten Flüssigkeit drückende Körper ausübt, weswegen man bei der Angabe der Temperatur des Siedens jederzeit diesen statt findenden Druck und, da derselbe in der Regel durch die atmosphärische Luft ausgeübt, dieser aber durch das Barometer gemessen wird, den gleichzeitigen Barometerstand anzugeben pflegt. Da die Siedehitze des reinen Wassers den einen Normalpunct der Thermometerscalen abgiebt, so ist die Hauptsache dieser Aufgabe, namentlich wie man für Wasser einen constanten Siedepunct erhält und wie derselbe nach den verschiedenen Barometerhöhen

variirt, bereits mitgetheilt worden[1], und da man indirect aus der Temperatur des siedenden Wassers auf den zugehörigen Barometerstand zu schliefsen vermag, mithin das Thermometer statt des Barometers zu Höhenmessungen anzuwenden vorgeschlagen hat, so mufste die Sache auch in dieser Beziehung erörtert werden[2]; hier kann also nur von der Aufgabe im Allgemeinen die Rede seyn. Es bedarf dabei zugleich keiner Erörterung des Zusammenhanges, in welchem der Druck auf die Flüssigkeit mit der Temperatur ihres Siedens steht, denn dieser geht aus dem bereits angegebenen Wesen des letzteren von selbst hervor.

Der Erste, welcher wahrnahm, dafs Wasser und Weingeist in luftleeren Gefäfsen bei weit geringerer Hitze sieden, als in lufterfüllten, war wohl Papinus[3], dessen Untersuchungen über die Dämpfe diesen zugleich viel mit der Luftpumpe experimentirenden Physiker nothwendig zu Wahrnehmungen dieser Art führen mufsten. Derselbe verfertigte auch die ersten Wasserhämmer, aus einer blofsen luftleeren, mit etwas Wasser gefüllten Glasröhre bestehend, in welcher dann diese Flüssigkeit eine geraume Zeit über einer Lichtflamme siedete, ohne dafs ihre Wärme einen bedeutenden Grad erreichte. Hierdurch aufmerksam gemacht wiederholte Huyghens[4] die Versuche und fand die Sache bestätigt. Franklin[5] aber erfand die nach ihm benannte *Franklin'sche Röhre*, eine Glasröhre mit einer mäfsig grofsen Kugel an jedem Ende, worin sich eine Mischung aus Wasser und Alkohol befand, die in der einen Kugel lebhaft siedete, wenn man die andre durch die Hand erwärmte. An diese Untersuchungen, die theilweise zur Ergötzung dienten, schlossen sich diejenigen anderer Gelehrten an, welche den Zusammenhang der Siedehitze mit dem tieferen Barometerstande auf hohen Bergen aufzufinden sich bemühten. Als Amontons[6] sich bestrebte, einen festen Punct der Thermometerscalen aufzufinden, gelangte er zu dem Resultate, dafs die Temperatur des siedenden Wassers unter allen Bedingungen eine constante

1 S. Art. *Thermometer.* Bd. IX. S. 890.
2 S. ebendaselbst S. 962.
3 Nouvelles expériences du vuide. Par. 1674. 4.
4 Philos. Trans. N. 122. p. 544.
5 De Saussure Essay's sur l'Hygrométrie. Ess. III. chap. I. §. 186.
6 Mém. de l'Acad. de Paris. 1703.

sey, FAHRENHEIT[1], welcher anhaltender und mit gröfserer Sorgfalt experimentirte, gewahrte schon 1724 den Einflufs, welchen der ungleiche Barometerstand auf die Temperatur des siedenden Wassers ausübte, und wenn es auffallend scheint, dafs dieses nicht nach dem, was PAPIN und HUYGHENS bereits aufgefunden hatten, als nothwendig folgend betrachtet wurde, so darf nicht übersehn werden, dafs man zwar die Gesetze des Luftdruckes damals bereits kannte, allein die Vorstellungen von demselben noch nicht zur gehörigen Klarheit gelangt waren und daher immer noch dem leeren Raume ein eigenthümlicher Einflufs auf die darin siedende Flüssigkeit beigelegt wurde. Ganz eigentlich wissenschaftlich waren dagegen die Versuche der Gelehrten, welche die Erniedrigung des Siedepunctes des Wassers auf hohen Bergen mafsen und richtig als Folge des tieferen Barometerstandes betrachteten. LE MONNIER und CASSINI[2] brachten ein Quecksilberthermometer, dessen Siedepunct zu Perpignan bei 28 Z. 2 Lin. Barometerhöhe bestimmt worden war, auf den Gipfel des Canigou in den Pyrenäen, wo der Barometerstand nur 20 Z. 2,5 Lin. betrug, und fanden daselbst die Temperatur des siedenden Wassers um 9° R. tiefer. Auf gleiche Weise fand SECONDAT DE MONTESQUIEU[3] die Siedehitze des Wassers auf dem Pic du Midi, verglichen mit der zu Bagnères, um 18° F. und die des Weingeistes um 13° F. niedriger. Eine grofse Menge von Versuchen stellte auch SHUCKBURGH[4] bei seinen Reisen in den Alpen und auf den Bergen Grofsbritanniens an; am ausführlichsten aber wurde das Problem durch DE LUC untersucht, dessen Bemühungen, das Verhältnifs zwischen den Veränderungen der Quecksilberhöhe im Barometer und den diesen zugehörigen der Siedepuncte aufzufinden, bereits erwähnt worden sind[5].

Die Sache selbst läfst sich durch einen einfachen Versuch

---

1 Philos. Trans. N. 385. S. 179. Nach MURRAY in Philos. Mag. and Journ. T. LXVII. p. 201 soll FAHRENHEIT zuerst geäufsert haben, man könne das Thermometer zum Höhenmessen gebrauchen. MURRAY hält aber nach eigenen Erfahrungen und denen des Cap. HALL in der Schweiz die Methode für nicht geeignet, genaue Resultate zu geben.

2 Mém. de l'Acad. de Paris. 1740. p. 131.

3 Philos. Trans. N. 472.

4 Philos. Trans. T. LXIX. p. 362.

5 Vergl. LICHTENBERG in: Magazin für das Neueste a. d. Physik. Bd. II. St. I. S. 219.

leicht anschaulich machen. Zu diesem Ende stellt man ein Glas mit Wasser von etwa 50° C. Wärme unter eine Campane auf den Teller der Luftpumpe und exantlirt. Sobald ein Vacuum erzeugt wird, steigen zunehmend kleine Bläschen im Wasser auf, über der Wasserfläche erhebt sich Wasserdunst, genau so wie man es beim gewöhnlichen Erhitzen des Wassers wahrnimmt, und wenn die Luft hinlänglich verdünnt ist, so tritt ein vollständiges, dem gewöhnlichen vollkommen ähnliches, Sieden ein. Weil aber die Temperatur des Wassers durch die aufsteigenden Dämpfe herabgeht, den Verlust durch Strahlung nicht gerechnet, und der Dampf selbst mit der ihm eigenthümlich zugehörenden Elasticität auf das Wasser drückt, so hört das Sieden bald auf, das Exantliren mufs wieder begonnen und der Rest der noch vorhandenen Luft nebst den erzeugten Dämpfen weggenommen werden, damit das Sieden wieder beginnt. Je stärker die Luftpumpe exantlirt, bis zu desto niedrigern Temperaturen kann dieser Versuch fortgesetzt werden, wenn man auf das nachtheilige Eindringen des Wasserdampfes in die Röhren und Ventile der Luftpumpe keine Rücksicht nimmt. Uebrigens geht aus der geringen Temperatur des unter diesen Umständen wirklich siedenden Wassers anschaulich hervor, dafs auf hohen Bergspizen, z. B. in dem Hospiz auf dem St. Bernhard, der Meierei von Antisana u. s. w., die Hitze des in offenen Gefäfsen siedenden Wassers nicht genügt, um die thierische Muskelfaser genugsam zu erweichen, und dafs die dortigen Bewohner daher sich zur Bereitung nahrhafter Speisen des Papin'schen Digestors bedienen müssen. Ein sehr interessanter, die Sache ausnehmend erläuternder Apparat ist der *Wasserhammer* (*Marteau d'eau*)[1]. Dieser besteht meistens blofs aus einer 0,5 bis 1 Zoll weiten, 6 bis 8 Zoll langen Glasröhre, welche am einen Ende gewölbt zugeblasen, am andern mittelst eines kurzen, sehr engen Röhrchens mit einer Kugel von 1 bis 2 Zoll Durchmesser verbunden ist. In dieser Gestalt dient er zunächst dazu, um durch das heftige Schlagen des Wassers gegen den Boden der Röhre zu zeigen, dafs das Wasser an sich als hart erscheint und zugleich an dem Herabfliefsen aus der Kugel in die Röhre und umgekehrt, welches in lufterfüllten Röhren nicht statt findet, nur durch den Widerstand der

---

1 Vergl. Sigaud de la Fond Dict. de Phys. Art. *Marteau d'eau.*

Luft gehindert wird. Der Wasserhammer ist nämlich luftleer und etwa zu 0,3 oder nur 0,25 mit Wasser gefüllt. Soll der Apparat das Sieden des Wassers durch die Wärme der Hand und zugleich die Erzeugung, so wie das Verschlucktwerden der Dampfblasen anschaulich zeigen, so mufs er mit gröfserer Vorsicht verfertigt werden. Am besten dient hierzu eine wenigstens 1 Z. weite, 12 Z. lange und mit einer 2 Z. weiten Kugel unmittelbar verbundene Röhre. Die Kugel wird oben in eine Fig. 75. feine Spitze ausgezogen, durch diese der Apparat mit reinem Wasser bis etwa zur Hälfte gefüllt und dieses mehrere Stunden in heftigem Sieden erhalten, um auch die letzten Antheile Luft zu entfernen. Mitten im Sieden, nachdem etwa die Hälfte des Wassers verdampft ist, verschliefst man schnell die Spitze mit Siegellack, entfernt das Feuer, um ein Zerplatzen zu verhüten, läfst den Apparat erkalten und schmelzt die Spitze mit der Blaslampe ab. Läfst man später den gröfsten Theil des Wassers in die Kugel fliefsen, so dafs der Zugang derselben in die Röhre eben verschlossen ist, und erwärmt man das andere Ende der Röhre mit der Hand, so sieht man fortwährend Dampfblasen aus der Röhre in die Kugel dringen, wo sie augenblicklich, und zwar mit hörbarem Geräusch, wieder niedergeschlagen werden; das Geräusch, den Stöfsen der zu sieden beginnenden Flüssigkeiten ähnlich, vernimmt man deutlicher und verstärkt, wenn man die Kugel auf eine Tischplatte, ein Bret, eine Glasplatte u. s. w. legt[1].

531) Eine artige Spielerei gewähren kleinere Apparate von Fig. 76. ungefähr ähnlicher Form, deren Röhren nur etwa 5 bis 6 Z. lang, 0,75 Z. weit, mit einer durch zwei Thermometerröhrchen gesonderten Kugel und oben mit einem länglichen Gefäfse versehn sind. Sie werden mit gewöhnlichem Weingeist gefüllt und mit geringerer Mühe luftleer gemacht. Bringt man die Flüssigkeit gröfstentheils, ohne genaue Beachtung des quantitativen Verhältnisses, in den einen, durch eins der engen Röhrchen abgesonderten Theil des Apparates und hält diesen nach oben, während der untere durch die Hand erwärmt wird, so

1 Die angegebene Construction ist die einfachste; man versieht aber die Apparate zuweilen mit Zierrathen und verfertigt sie von gröfseren, bis zum Doppelten der angegebenen Dimensionen und darüber. Einen anderthalb Fufs langen und proportional grofsen von Watkins sah ich im Cabinette der London University.

siedet die Flüssigkeit heftig entweder im obern Theile des Apparates allein oder auch zugleich in der Kugel; das Stofsen wird aber dabei nicht gehört, weil der Weingeist hierfür nicht hart genug, vielmehr zu flüssig ist. Dieser Apparat ist eigentlich nur eine Modification der bereits genannten *Franklin'schen Röhre*, welche auch Pulshammer (*Pulse-glas, Palmglas*) genannt wird[1]; seine Gestalt ist genau wie die des Kryophorus, nur ist in ihm Fig. 77. Weingeist statt des Wassers enthalten und die Dimensionen sind meistens kleiner, die Röhre 5 bis 6 Zoll lang, die Kugeln etwa 1,5 Zoll im Durchmesser haltend. Ist derselbe hinlänglich luftleer, hält man ihn horizontal, die Kugeln nach oben gerichtet, befindet sich von dem enthaltenen Weingeist, welcher in seiner Gesammtheit jedoch die eine der Kugeln nicht ganz ausfüllen darf, in jeder der Kugeln die Hälfte, und nimmt man die eine der Kugeln, sie ganz umschliefsend, in die Hand, so steigt die gesammte Flüssigkeit sofort in die freie Kugel und beginnt dann heftig zu sieden. Hierbei zeigt sich jederzeit ein Phänomen, welches ich nirgends besonders hervorgehoben oder nur überhaupt erwähnt finde, und doch scheint es mir von vorzüglicher Wichtigkeit zu seyn. Wenn man die Kugel umfafst, so fühlt man anfangs keine Kälte, vielmehr tritt eine scheinbare Steigerung der Wärme ein, weil die Kugel ein schlechter Leiter ist; in dem Augenblicke aber, wo die Flüssigkeit in der andern Kugel heftig aufwallet, selbst auch wenn vorher ein fontainenartiges Aufsprudeln derselben statt fand, empfindet man eine auffallende Kälte, die nur wenige Augenblicke anhält. Es scheint mir, als gäbe es nur drei mögliche Ursachen dieser momentanen Wärmeverschluckung. Nach der einen müfste angenommen werden, dafs die erwärmte Flüssigkeit eine höhere Wärme annähme, als welche ihrem Siedepuncte zugehörte, diese aber in dem Augenblicke auf gleiche Weise verlöre, als dieses vor und während des sogenannten Stofsens (§. 528) nach den Erfahrungen von Magnus statt findet. Dieser Ansicht steht aber entgegen, zuerst dafs kein Mangel an Dampfbildung statt findet, vielmehr treibt der gebildete Dampf die Flüssigkeit mit Gewalt in die andere Kugel. Nach einer zweiten Erklärung liefse sich annehmen, dafs der erzeugte, in die zweite Kugel

1 Vergl. Robison System of mechanical Philosophy cet. Edinb. 1822. T. II. p. 14.

frei eindringende und das heftige Sieden bewirkende Dampf eine gröſsere Menge Wärme absorbire, allein auch hiergegen läſst sich einwenden, daſs dann die bemerkte Kälte ebenso wie die Dampfbildung fortdauern müſste, statt daſs sie nur momentan oder sehr kurze Zeit dauernd ist, während das Sieden fortwährend, wenn auch mit etwas verminderter Heftigkeit, statt findet. Man kann daher nicht wohl umhin, zu einer dritten Erklärung überzugehn. Hiernach wird zwar vom ersten Augenblicke an Dampf entwickelt und seine stärkere Spannung dazu verwandt, die Flüssigkeit durch die enge Röhre zu treiben; in dem Augenblicke aber, wo er frei entweichen kann, dehnt er sich aus und erzeugt die Empfindung der Kälte durch Absorption der zu dieser seiner Expansion erforderlichen Wärme. Dieses ist wohl ohne Zweifel die richtige Ansicht; sofern aber hierbei ein Wechsel der in gröſserer oder geringerer Menge zuströmenden Wärme statt findet, hat das Phänomen in gewisser Beziehung Aehnlichkeit mit dem in §. 518 beschriebenen[1].

532) Wegen des bedeutenden Einflusses des Luftdruckes auf die Temperatur des Siedepunctes der verschiedenen Flüssigkeiten ist man übereingekommen, hierfür denjenigen Barometerstand anzunehmen, bei welchem der Siedepunct der Thermometer bestimmt wird[2], und da dieser zur Zeit der Versuche nicht immer statt findet, so giebt man zugleich mit den erhaltenen Resultaten den gleichzeitig beobachteten Barometerstand an, um hiernach annähernd zu schätzen, wie weit etwa die gegebene Bestimmung von der absolut genauen sich entfernen möge. Um die Abweichung scharf zu berechnen, muſs das Gesetz der Elasticität der Flüssigkeiten als Function der Wärme genau bekannt sein, was wir jedoch nur bei den wenigsten hinlänglich kennen. Ist der Unterschied des beim Versuche statt findenden Barometerstandes und des normalen nur ge-

---

1 Es hat mir wiederholt geschienen, als ob die Erzeugung der zum Sieden des Weingeists erforderlichen Wärme bei verschiedenen Personen ungleich sey und sich hiervon auf die Energie des bei ihnen statt findenden Lebensprocesses schlieſsen lasse. Der Apparat verdiente wohl, in dieser Hinsicht von den Physiologen beachtet zu werden. Absichtlich angestellte, ausgedehntere Versuche würden hierüber nähere Auskunft geben.

2 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 890.

ring, so wird man sich von der Wahrheit nicht sehr entfernen, wenn man das *Dalton'sche Gesetz* (§. 523) in Anwendung bringt, wonach für gleiche Temperaturen unter oder über dem Siedepuncte den Dämpfen der verschiedenen Flüssigkeiten gleiche Unterschiede der Temperaturen zugehören. Uebrigens genügt es im Allgemeinen, den Siedepunct der verschiedenen Flüssigkeiten mit gehörig genäherter Genauigkeit zu bestimmen, und für mehr sind auch die in der unten angehängten Tabelle angegebenen Bestimmungen nicht zu halten; blofs beim Wasser war möglichste Schärfe unerläfslich, weil wir sonst im Thermometer selbst kein genaues Mefswerkzeug besäfsen.

Wirken stark vermehrter Druck und hohe Kälte gleichzeitig auf Dämpfe oder die ihnen ähnlichen Gase, so werden diese tropfbar-flüssig, und wir könnten daher die Temperaturen, wobei dieses statt findet, als ihre Siedepuncte ansehn, würden uns aber dadurch von der aufgestellten Regel entfernen, wonach wir die Siedepuncte der Flüssigkeiten der Vergleichung wegen auf den gemeinschaftlichen mittleren Barometerstand reduciren. Die Untersuchung des erforderlichen Druckes, unter welchem einige Gase, die in dieser Beziehung als Dämpfe zu betrachten sind, tropfbar-flüssig werden, mufs daher hier, wo es sich um die Bestimmung der Siedepuncte bei mittlerem Barometerstande handelt, ausgeschlossen werden und ist aufserdem bereits angestellt worden[1].

Einige gemischte Flüssigkeiten, als Salzsolutionen, Wasser mit Alkohol u. s. w., erleiden durch Wärme eine Zerlegung, und der Siedepunct rückt folglich stets höher hinauf; soll daher die Temperatur ihres Siedepunctes bestimmt werden, so mufs dieses in dem ersten Augenblicke geschehn, wo die Dampfentwickelung beginnt. Andere Körper, namentlich die fetten Oele, zeigen zwar gleichfalls ein Aufwallen, was man als ein Sieden betrachten könnte, allein nach Placidus Heinrich[2], Carradori[3] und Anderen sind es blofs die Dämpfe des mit

---

1 S. Art. *Gas*. Bd. IV. S. 1018.

2 Phosphorescenz der Körper. Th. I. S. 188. G. XII. 102.

3 S. Brugnatelli Giorn. T. III. p. 380. Bellani bestreitet diese früher durch Carradori aufgestellte Behauptung in Brugnatelli Giorn. T. III. p. 26, weil dieser zugestehe, dafs die Oele durch Hitze aufwallen, man aufserdem die Oele bekanntlich destilliren könne; allein

den Oelen verbundenen Wassers, welche dieses Aufwallen erzeugen; die Oele selbst erleiden durch die Hitze eine Zersetzung, werden zunehmend dickflüssiger und ein eigentliches Sieden derselben findet überall nicht statt. Ich selbst gewahrte[1], daſs der Kampfer, wenn er in Glasröhren eingeschlossen im flüssigen Zustande erhitzt wird, stark aufwallet, ohne jedoch Dämpfe von bedeutender Elasticität zu entwickeln, was erst in höherer Temperatur geschieht. Gelegentlich kann hier auch an die Betrachtungen erinnert werden, welche GAY-LUSSAC[2] über die Verdampfung der verschiedenen Körper anstellt, die bei einigen nur dann erfolgt, wenn die Luft freien Zutritt hat, wonach also manche als nicht flüchtig erscheinen könnten, wenn diese Bedingung bei ihrer Erhitzung fehlt. So läſst sich salzsaures Kali lange selbst in der Rothglühhitze erhalten, ohne daſs es merklich verdampft, wenn es mit einem Deckel genau bedeckt ist, statt daſs es stark verdampft, wenn die Luft freien Zutritt hat. Diesem ähnlich ist, daſs Blei, Wismuth und Antimon in offenen Gefäſsen stark verdampfen, in verschlossenen dagegen nicht. Es steht dieses mit der schon durch FONTANA gemachten Bemerkung in Verbindung,* daſs auch das Wasser unter dem Siedepuncte nur wenig verdampft, wenn das Gefäſs, worin es sich befindet, durch eine enge Röhre ohne Luftzug mit der äuſseren Atmosphäre in Verbindung steht. Bei gemischten Flüssigkeiten, von denen die eine bei niedrigern Temperaturen siedet als die andere, mit ihr verbundene, vertreten nach seiner Ansicht die Dämpfe der ersteren die Stelle der Luft und führen stets die Dämpfe der letzteren mit sich fort, weswegen es unmöglich ist, durch dieses Mittel beide von einander zu trennen. Endlich muſs auch die unter dem Namen des *Leidenfrost'schen Versuches*[3] oben (§. 271) bereits erörterte Erscheinung in Beziehung auf das Sieden erwähnt

---

CARRADORI zeigt, daſs die beim Aufwallen des Oeles aufsteigenden elastischen Flüssigkeiten keine reinen Oeldämpfe sind, sondern verunreinigte Wasserdämpfe und Gase, die durch Abkühlung nicht wieder zu Oel werden, weswegen man kein eigentliches Sieden der Oele annehmen könne.

1 Physikalische Abhandl. Gieſsen 1816. S. 438.

2 Aus Mém. de la Soc. d'Arcueil in G. XXVII. 147.

3 LEIDENFROST's Versuche findet man auch in dessen Opusc. phys. med. Lemg. 1797. T. III. p. 35.

werden, sofern dabei kein Sieden statt findet, ungeachtet alle dazu erforderlichen Bedingungen gegeben sind. Einige Gelehrte waren geneigt, auch hierin kein Sieden, sondern eine Zerlegung des Wassers in seine Bestandtheile anzunehmen, als namentlich LICHTENBERG[1] und J. T. MAYER[2] und Andere, BOSC D'ANTIC[3] hielt die Wassertropfen für hohle Kugeln, weil die Glasbläser in die aufzublasenden Glasmassen Wasser mit dem Munde bringen, wodurch sie sich zu einer hohlen Kugel ausdehnen, in welcher einzelne Wasserkugeln umherrollen, CRIGNON[4] nahm zu einer ganz unzulässigen Hypothese, nämlich einer Bindung des Feuers durch das Metall, seine Zuflucht, DESLANDES[5] war aber vermuthlich mit den Beobachtungen LEIDENFROST's nicht bekannt, als er auf ein ähnliches Phänomen aufmerksam machte. Ward nämlich ein Löffel voll Wassers auf die glühende Glasmasse in einem grofsen Tiegel gegossen, so formirte sich dasselbe ohne Explosion zu einer Kugel, welche nach mehreren Minuten verdampft war. Die Ursache hiervon glaubte er in der starken Verdünnung der Luft über dem Glase suchen zu müssen, welche eine Explosion unmöglich mache, und MÖNNET fand dieses dadurch bestätigt, dafs kleine Quantitäten Wasser, auf eine 80 Mark betragende geschmolzene Silbermasse gebracht, in Form kleiner Kugeln darauf umherrollten, eine gröfsere Menge aber in Folge der stärkeren Abkühlung eine Explosion erzeugte. Es genügt jedoch hier, auf die oben mitgetheilten Thatsachen und die auf richtigen Principien beruhende Erklärung zu verweisen, doch mufs ich nachträglich dasjenige hinzufügen, was BUFF[6] in Beziehung auf dieses Phänomen geleistet hat, von mir aber zufällig übersehn worden ist. Im Allgemeinen fand er die Hitze der Wassertropfen wechselnd, nie aber die Siedehitze erreichend; auch machte die Färbung des Wassers mit etwas Indigo keinen Unterschied, wie denn auch matte und rauhe Oberflächen das Gelingen der Versuche nicht hinderten. Dagegen ist nach ihm

---

1 Scherer's allgem. Journ. d. Chem. Th. VII. S. 646.

2 S. Gött. gel. Anz. 1801. S. 838.

3 Journ. de Phys. T. XI. p. 411.

4 Journ. de Phys. T. XII. p. 288.

5 Journ. de Phys. T. XI. p. 30.

6 Poggendorff's Ann. XXV. 591.

gute Leitungsfähigkeit nothwendige Bedingung des Gelingens und daher Silber weit geeigneter, als Platin. Die Erscheinung zeigte sich ebenso gut beim Weingeist, als beim Wasser, auch gelang der Versuch mit liquidem Ammoniak und Salzsäure, weniger mit Schwefelsäure, welche zwar in einem Platingefäfse kugelförmig langsam verdunstete, das Silber aber bald zu benetzen und dann selbst schnell zu verdampfen anfing, worauf sich die Metallfläche angegriffen zeigte. Wichtig ist noch ein von ihm zur Controle der durch Perkins aufgestellten Behauptung gemachter Versuch. Hierzu diente ein am obern Ende verschlossener, blofs durch das Zündloch mit der äufsern Luft communicirender Flintenlauf, welcher an seinem schräg nach oben gerichteten Ende glühte. In das untere Ende war durch einen Kork eine vertical nach oben gebogene Glasröhre eingesteckt, durch welche Wasser hineingebracht wurde, dessen Dämpfe ohne merklichen Druck aus dem glühenden Zündloche entwichen, wodurch also die von Perkins behauptete Repulsion widerlegt wird. Als das Rohr umgekehrt wurde und das siedende Wasser in das glühende Ende herabflofs, drang der Dampf mit Gewalt aus der obern Oeffnung, aus dem unten befindlichen Zündloche aber nur wenig, worin eine Bestätigung der von Perkins aufgestellten Behauptung liegen soll; allein danach durfte gar kein Dampf aus dem Zündloche strömen, da noch obendrein das Zündloch weit enger war, als wohin sich die Repulsion erstrecken soll; aufserdem aber siedete das Wasser, was beim Leidenfrost'schen Versuche nicht statt finden darf, die Erscheinung war also eine ganz andere, als die in Rede stehende, und es verstand sich wohl von selbst, dafs von dem siedenden Wasser, auf welches der obere nicht glühende Theil des Flintenlaufes stärker, als der untere wirkte, mit gröfserer Gewalt aus der oberen Oeffnung dringen mufste, als aus dem Zündloche, in welchem das durch den Druck hineingetriebene Wasser zur Verdampfung kam. Uebrigens kommt die durch Buff gegebene Erklärung der Phänomene der oben mitgetheilten im Ganzen nahe. Die Wärme soll um so mehr in das Wasser übergehn, je vollständiger dieses die Körper benetzt; da aber die Benetzung der Metalle durch das Glühen, welches den Zusammenhang gleichartiger und ungleichartiger Körper vermindert, aufgehoben wird, so kann die Wärme nicht mehr mit derselben Schnelligkeit in das Wasser eindrin-

gen, als sie sich in der Masse des Silbers (der Metalle) fortpflanzt[1].

533) Die nachfolgende Tabelle[2] enthält die Siedepuncte der bekanntesten Flüssigkeiten annähernd bei einem Barometerstande von 0,76 Meter. Verschiedene Flüssigkeiten konnten darin nicht aufgenommen werden, weil sie gar nicht eigentlich sieden, sondern vor dem Eintritt des Siedens sich verdicken und in ihren Bestandtheilen zum Theil entweichen, zum Theil als Kohle zurückbleiben. Dahin gehören die Oele, die thierischen Fette, Wachs, Harz u. s. w., und die Angabe für Leinöl mag daher nur als annähernde Bestimmung gelten. Für andere Flüssigkeiten sind keine ganz scharfe Bestimmungen möglich, weil sie sich mit der Zeit von selbst und auch während des Erhitzens verdicken, in Folge dessen ihr Siedepunct höher hinaufrückt, wie dieses z. B. bei den flüchtigen Oelen, also auch dem Steinöl der Fall ist, dessen angegebener Siedepunct für den Zustand unmittelbar vorausgegangener Rectification gilt. Einige Flüssigkeiten bestehn aus Wasser mit gebundenen gasförmigen Körpern, z. B. Salzsäure und liquides Ammoniak, aus denen dann in Folge der Hitze das Gas entweicht, indem ein scheinbares Sieden erfolgt, welches aber nicht vom aufsteigenden Dampfe, sondern gröſstentheils von freigewordenem Gase herrührt, bis zuletzt, namentlich beim Ammoniak, reines Wasser zurückbleibt, zu dessen Siedepuncte der der Mischung allmälig hinaufrückt. Alle Salzsolutionen sieden bei höheren Temperaturen, als das reine Wasser, doch ist der Unterschied bei geringhaltigen anfangs unmerklich, steigt aber zunehmend bis zum gänzlichen Austrocknen, und ebenso beginnt das Sieden der Mischungen von Weingeist mit Wasser,

---

1 Mit dem Verhalten des Wassers im Leidenfrost'schen Versuche hängt ohne Zweifel, wie Fechner (Repertorium Th. I. S. 183) sehr richtig bemerkt, eine durch Johnson gemachte, aber unrichtig gedeutete Erfahrung zusammen, wonach am Tage kaum sichtbar rothglühendes Eisen in gleicher Zeit mehr Wasserdampf lieferte, als weiſsglühendes, s. Silliman Amer. Journ. of Sc. T. XIX. p. 292. Eine gleichzeitig von ihm gemachte Bemerkung, daſs Guſseisen mehr Dampf erzeugt, als Schmiedeeisen, bestätigt die Resultate der Versuche, wonach ersteres eine gröſsere Wärmecapacität hat, als letzteres. S. §. 449.

2 Vergl. Poggendorff in dessen Annalen XVII. 530, vermehrt und verbessert XLIX. 424.

je nach dem quantitativen Verhältnifs der Bestandtheile, beim Siedepuncte des absoluten Alkohols und endigt bei dem des reinen Wassers. Endlich bestehn eine Menge Flüssigkeiten, als Milch, Blut u. s. w., aus Wasser und sonstigen sehr verschiedenartigen theils beigemengten, theils aufgelösten Substanzen; ihr Siedepunct liegt daher gleichfalls über dem des reinen Wassers, rückt aber in Folge zunehmender Verdickung stets höher hinauf und läfst sich daher nicht genau angeben.

| Flüssigkeiten | Siedepunct | Beobachter |
|---|---|---|
| Acetylchlorid . . . . | —17°,0 C. | Regnault |
| Acetylhyperchlorid . . | 115,0<br>75,0 | Regnault |
| Aether . . . . . . | 35,7 | Gay-Lussac |
| Aethylchlorid . . . . | 11,0 | Thénard |
| Aethylchloridid . . . | 64,0 | Regnault |
| Aethylcyanid . . . . | 82,0 | Regnault |
| Aethyliodid . . . . | 64,5 | Gay-Lussac |
| Aethyloxyd . . . . | 73,0 | Regnault |
| Aldehyd . . . . . | 21,8 | Liebig |
| Alkarsin . . . . . | 150,0 | Bunsen |
| Alkohol . . . . . . | 78,4 | Gay-Lussac |
| Ameisenäther . . . . | 53,4 | Liebig |
| Ameisensäurehydrat . . | 100,0 | Bineau |
| Amilen . . . . . . | 160,0 | Cahours |
| Amyloxydhydrat . . . . | 132,0 | Dumas |
| Amyliodid . . . . . | 120,0 | Cahours |
| Arsenchlorür . . . . | 132,0 | Dumas |
| Benzin . . . . . . | 86,0 | Mitscherlich |
| Benzoëäther . . . . | 209,0 | Dumas |
| Benzoësäure . . . . | 245,0 | Mitscherlich |
| Bernsteinäther . . . . | 214,0 | D'Arcet |
| Bicarburet . . . . . | 85,5 | Faraday |
| Blausäure . . . . . | 26,5 | Gay-Lussac |
| Brenzschleimäther . . | 209,0 | Malaguti |
| Brom . . . . . . . | 47,0 | Mitscherlich<br>Balard |
| Brom-Phosphor-Wasserstoff | 30,0? | Bineau |
| Caoutchin . . . . . | 171,5 | Himly |
| Ceten . . . . . . | 275,0 | Dumas und Peligot |
| Chloräther . . . . fast | 100,0 | Gay-Lussac |
| Chloräthereal . . . . | 180,0 | D'Arcet |
| Chloral . . . . . . | 94,0 | Dumas |

| Flüssigkeiten | Siede-punct | Beobachter |
|---|---|---|
| Chlorbenzid . . . . | 210°,0 C. | Mitscherlich |
| Chlorkohlenstoff . . . | 60,8 | Liebig |
| Chlorkohlensäure-Aether | 94,0 | Dumas |
| Chlorphosphor im Minimum | 78,0 | Dumas |
| Chlorschwefelsäure . . | 77,0 | Regnault |
| Chlorkiesel . . . fast | 100,0 | Dumas |
| Chlortitan . . . . . | 135,0 | Dumas |
| Chlorwasserstoffhydrat . | 110,0 | Bineau |
| Chlorwasserstoffäther . . | 11,0 | Thénard |
| Chlorzinn . . . . . | 120,0 | Dumas |
| Chromoxydchlorid . . | 118,0 | Walter |
| Citren (Citronyl) . . . | 165,0 | Cahours |
| Cyanwasserstoff . . . | 26,5 | Gay-Lussac |
| Dümasin . . . . . | 120,0 | Kane |
| Elaën . . . . . . . | 110,0 | Fremy |
| Elaldehyd . . . . . | 94,0 | Fehling |
| Elaylbromid . . . . | 129,5 | Regnault |
| Elaylchlorid . . . . | 82,5<br>64,0 | Regnault |
| Essigätler . . . . . | 74,0 | Thénard<br>Dumas |
| Essiggeist . . . . . | 55,6 | Dumas |
| Essigsäure-Hydrat . . | 120,0 | Dumas |
| Essig, gemeiner . . über | 100,0 | Mollerat |
| Formomethylal . . . . | 42,0 | Dumas |
| Formylchlorid . . . . | 37,5 | Regnault |
| Formylhyperchlorür . . | 135,0<br>102,0 | Regnault |
| Formylhyperchlorid . . | 60,8 | Dumas |
| Holzgeist . . . . . | 66,5 | Dumas |
| Hydriodsäure, wässerige | 128,0 | Dumas |
| Iod . . . . . . . . | 177,0<br>175,0 | Gay-Lussac<br>Dumas |
| Iod-Wasserstoffäther . | 64,5 | Gay-Lussac |
| Kampher . . . . . | 104,0 | Gay-Lussac<br>Dumas |
| Kieselchlorid . . unter | 100,0 | Dumas |
| Kohlenchlorid . . . . | 120,0 | Regnault |
| Kohlenhyperchlorür . . | 182,0 | Regnault |
| Kohlenhyperchlorid . . | 78,0 | Regnault |
| Kohlensäureäther . . . | 125,0 | Ettling |
| Kohlensülphid . . . . | 46,6 | Gay-Lussac |
| Doppelt-Kohlenwasserstoff | — 18,0 | Faraday |
| Vierfach-Kohlenwasserstoff | 85,5 | Faraday |

| Flüssigkeiten | Siede-punct | Beobachter |
|---|---|---|
| Leinöl | 316°,0 C. | MURRAY |
| Menthen | 163,0 | WALTER |
| Mercaptan | 61,0 | LIEBIG |
| | 63,0 | REGNAULT |
| Mesiten | 63,0 | WEIDMANN u. SCHWEIZER |
| Mesityloxyd | 120,0 | KANE |
| Mesityloxydhydrat | 56,6 | DUMAS |
| Mesitylen | 135,5 | CAHOURS |
| Methylal | 42,0 | MALAGUTI |
| Methylenchlorid | 30,5 | REGNAULT |
| Methyliodid | 45,0 | DUMAS |
| Methyl, benzoësaures | 198,5 | DUMAS |
| essigsaures | 58,0 | DUMAS |
| salpetersaures | 66,0 | DUMAS |
| schwefelsaures | 188,0 | DUMAS |
| Methyloxydid | 100,0 | REGNAULT |
| | 110,0 | |
| Methylsülfid | 41,0 | REGNAULT |
| Naphtha | 85,5 | SAUSSURE |
| Naphthalin | 212,0 | DUMAS |
| Nelkensäure | 153,0 | DUMAS |
| Nicotin | 240,0 | REIMANN |
| Nitrobenzid | 213,0 | MITSCHERLICH |
| Oleën | 55,0 | FREMY |
| Oenanthäther | 227,0 | LIEBIG u. PELOUZE |
| Oxaläther | 184,0 | DUMAS |
| Paranaphthalin | 300,0 | DUMAS |
| Petrolen | 280,0 | BOUSSINGAULT |
| Petroleum, rect. | 85,0 | |
| Pfeffermünzstearopten | 213,5 | WALTER |
| Phosphor | 250,0 | HEINRICH |
| | 288,0 | DALTON |
| | 290,0 | PELLETIER |
| | 290,0 | MITSCHERLICH |
| Phosphorchlorür | 78,0 | DUMAS |
| Quadricarbüret | — 18,0 | FARADAY |
| Quecksilber | 340,0 | DANIELL |
| | 355,0 | IRVINE |
| | 349,0 | DALTON |
| | 346,6 | CRICHTON [1] |
| | 356,0 | HEINRICH [2] |

1 Philos. Trans. 1818. p. 376.
2 Schweigger's Journ. I. 214.

| Flüssigkeiten | Siede-punct | Beobachter |
|---|---|---|
| Quecksilber . . . . . . | 350°,0 C. | Dulong u. Petit[1] |
| | 356,0 | |
| | 360,0 | Dumas / Mitscherlich |
| Retinnaphtha . . . . . | 108,0 | Walter |
| Retinöl . . . . . . . | 238,0 | Walter |
| Retinyl . . . . . . . | 150,0 | Walter |
| Salicylhydrür . . . . . | 196,5 | Piria |
| Salpeteräther . . . . . | 21,0 | Thénard / Dumas |
| Salpetersäure, salpetrige | 28,0 | Dulong / Mitscherlich |
| Salpetersäure (spec. Gew. 1,42) . . . | 121,0 | Dalton |
| Salznaphtha . . . . | 16,0 | Thénard |
| | 12,5 | Gehlen |
| Schwefel . . . . . . | 293,0 | H. Davy |
| | 316,0 | Mitscherlich |
| Schwefeläther . . . . . | 35,6 | Gay-Lussac |
| | 35,0 | Muncke |
| Schwefelblausäure . . . . | 102,5 | Vogel |
| Schwefelchlorid, schwefels. | 145,0 | Heinr. Rose |
| Schwefelchlorür . . . . | 138,0 | Dumas |
| Schwefelkohlenstoff . . . | 43,0 | Berzelius |
| | 46,6 | Gay-Lussac |
| | 46,8 | Marx |
| Schwefelsäure . . . . . | 310,0 | Dalton |
| gemeine . . | 288,0 | Davy |
| Nordhäuser. | 45,0 | Bussy |
| Schweflige Säure (spec. Gew. 1,45) . | — 10,0 | Bussy[2] |
| Suberon . . . . . . . | 186,0 | Boussingault |
| Terpentin . . . . . . . | 293,0 | Murray |
| Terpentinspiritus . . . . | 156,0 | Dumas |
| frisch destillirt | 152,0 | Ure |
| älter . . . . | 158,0 | |
| Titanchlorür . . . . . | 135,0 | Dumas |
| Urethan . . . . . . . | 180,0 | Dumas |
| Valerianäther . . . . . | 133,5 | Otto |
| Valeriansäure . . . . . | 132,0 | Otto |

1 Von diesen genauen Bestimmungen gilt die erste für das Luftthermometer, die zweite für das uncorrigirte Quecksilberthermometer. S. Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 120.

2 Schweigger's Journ. XXXII. 452.

| Flüssigkeiten | Siede-punct | Beobachter |
|---|---|---|
| Wasser . . . . . . . | 100°,0 C. | |
| Weinöl ($C_4 H_8$) . . unter | 100,0 | Masson |
| Weinöl ($C_{10} H_{16}$) . . | 285,0 | Regnault |
| Xylit . . . . . . . | 61,5 | Weidmann u. Schweizer |
| Xylitnaphtha . . . . | 110,0 | Weidmann u. Schweizer |
| Zinnchlorid . . . . | 120,0 | Dumas |

### c) Dampf, dessen Elasticität und Dichtigkeit.

534) Aufser der Verdunstung und dem Sieden kommt in Beziehung auf Dampfbildung noch das Verhalten des Erzeugnisses selbst, des *Dampfes*, oder der Verbindung der Wärme mit den verschiedenen Flüssigkeiten sowohl als auch festen Körpern in Betrachtung. Hierüber ist indefs bereits in einem eigenen Artikel ausführlich gehandelt worden[1], und es versteht sich daher von selbst, dafs hier nur dasjenige nachträglich hinzugefügt werden kann, was seitdem neu hinzugekommen ist, wobei es als angemessen erscheint, die dort befolgte Ordnung hier beizubehalten. Der erste Theil jener Untersuchungen über die latente Wärme der Dämpfe ist seitdem durch keine neuen Thatsachen erweitert worden. Ganz anders verhält es sich dagegen mit dem, was bis dahin zur genauen Ermittelung der Elasticität des Wasserdampfes geschah, welche bestimmt zu kennen wegen der zahlreich davon gemachten technischen Anwendungen von äufserster Wichtigkeit ist. Als literarische Notiz darf diejenige als wichtig gelten, welche Kämtz[2] aufgefunden hat. Hiernach kannte schon Alex. Volta[3] das von Dalton aufgefundene Gesetz[4] (§. 523 u. 532), welches mindestens für einige Dämpfe annähernd richtige Resultate giebt; nicht übereinstimmend mit den bisherigen Messungen ist dagegen der gleichfalls von ihm aufgestellte Satz, dafs die Elasticität des Wasserdampfes durch 20° C. verdoppelt werde. Kämtz[5] hat seine bereits er-

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 279 ff.

2 Schweigger's Journ. LII. 98.

3 Collez. dell' Opere del Cavaliere Conte Aless. Volta. Firenze 1816. 8. T. III. p. 381. Brugnatelli Giorn. T. II. p. 84.

4 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 354.

5 Untersuchungen über die Expansivkraft d. Dämpfe. Halle 1826. 8. Vergl. Art. *Dampf*. S. 345.

wähnten Untersuchungen über die Spannkraft der Dämpfe in einer eigenen Schrift erweitert dem Publicum vorgelegt, es wird aber genügen, dieses hier bloſs zu erwähnen, da die Aufgabe seitdem durch eine höchst schätzbare neue Versuchsreihe eine bedeutend veränderte Gestalt angenommen und eine wichtige Erweiterung erhalten hat.

Die hier in Rede stehenden Versuche sind diejenigen, welche von den Mitgliedern des Pariser Instituts mit einem sehr bedeutenden Aufwande von Mühe und Kosten höchst sinnreich entworfen und mit beharrlichem Eifer vollendet wurden, wie dieses unverkennbar aus dem durch DE PRONY, ARAGO, GIRARD und DULONG erstatteten, von Letzterem abgefaſsten Berichte hervorgeht[1]. Als Veranlassung hierzu diente eine Aufforderung des Gouvernements, diejenigen Mittel anzugeben, wodurch den aus dem Zerspringen der Dampfkessel entstehenden Unglücksfällen vorgebeugt werde, und da die Wiener Versuche von ARZBERGER damals in Paris noch nicht bekannt waren, so muſste nothwendig die Spannkraft der Dämpfe bei höheren Temperaturen zuvor erst ausgemittelt werden. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daſs alle Messungen durch aufgestoſsene Ventile bei weitem keine solche Genauigkeit gewähren, als die unmittelbare Beobachtung der durch den Wasserdampf emporgetriebenen Quecksilbersäule, allein zugleich sind auch die groſsen Schwierigkeiten nicht zu verkennen, die der Aufrichtung und Zusammensetzung einer ungefähr 70 Fuſs langen Glasröhre entgegenstehn; es wird aber genügen, von dem mit allen Vorsichtsmaſsregeln construirten, höchst zweckmäſsig eingerichteten, aber auch sehr complicirten Apparate nur eine kurze Beschreibung der wesentlicheren Theile hier aufzunehmen. Als zweckmäſsiges Local diente ein viereckiger alter Thurm im *Collège royal de Henri IV.*, durch dessen früher durchbrochene Gewölbe ein Balken mit ebener Vorderfläche aufgerichtet wurde, an welchem sich die aus einzelnen Stücken zusammengesetzte, durch Schrauben und Kitt gegen das Ausdringen des Quecksilbers gesicherte Glasröhre befestigen lieſs.

---

1 Mém. de l'Acad. des Sciences T. X. p. 193. T. XI. p. 897. Ann. de Chim. et Phys. T. XXVII. p. 101. T. XLIII. p. 74. Poggendorff's Ann. XVIII. 437. Schweigger's Journ. LIX. 167. Vergl. Fechner's Repert. Th. I. S. 173.

Um den starken Druck dieser ganzen Säule zu vermeiden, war jedes Röhrenstück durch ein angemessenes Gegengewicht balancirt, so daſs das Ganze sich leicht heben und zusammensetzen lieſs. Zum Messen der Spannkraft des Dampfes diente zugleich ein Manometer, aus einer dicken Glasröhre bestehend. Um aber die Gültigkeit dieses Boyle'schen oder Mariotte'schen Gesetzes auch bei stärkeren Pressungen zuvor durch abermalige Messungen zu prüfen, da ihnen die früher hierüber angestellten Versuche[1] nicht genügten, so verbanden die Akademiker die Manometerröhre und die zusammengesetzte hohe Glasröhre beide durch ein eisernes Gefäſs voll Quecksilber, preſsten über letzteres Wasser mittelst einer Compressionspumpe, machten dadurch das Metall in beiden Röhren aufsteigen und bestimmten aus dem Unterschiede des Niveaus in beiden die Zusammendrückung der trocknen Luft in der Manometerröhre, wobei sie nicht bloſs das Caliber der letzteren corrigirten, sondern auch ihre Temperatur durch einen an ihr herabflieſsenden Strom Wassers unverändert erhielten. Durch drei Versuchsreihen fanden sie das *Boyle'sche Gesetz* von 1 bis 27 Atmosphären Druck vollkommen bestätigt, also für höhere Pressungen, als welche bis jetzt angewandt wurden. Eine Angabe der Mittel zur Vermeidung parallaktischer und sonstiger Fehler kann hier füglich übergangen werden, da die hierzu erforderlichen Apparate und zweckmäſsigen Methoden hinlänglich bekannt sind.

Nachdem auf diese Weise das *Manometer* als ein genügend genaues Meſswerkzeug erkannt worden war, lieſsen die Experimentatoren dasselbe sammt dem Quecksilbergefäſse in den Hof des Fig.
Gebäudes bringen, weil eine Explosion den Einsturz des Thurms 78.
veranlassen konnte, und setzten das Quecksilbergefäſs mit einem Dampfkessel in Verbindung, worin Wasserdampf erzeugt wurde, welcher eine seiner Temperatur angemessene Pressung gegen das Quecksilber ausübte. Die einzelnen Theile des Dampfkessels waren durch zwischengelegte Bleiplatten dampfdicht verschlossen, woraus hervorgeht, daſs dieses Metall, sofern es durch das Anziehn der Schrauben in die feinen Zwischenräume dringt,

---

1 Es werden hier nur Boyle, Mariotte, Musschenbroek nach Essay de Phys. Leyde 1751. T. II. p. 655, Sulzer, Robison in Encyclop. Brit. Art. *Pneumatics.* T. XVI. p. 700 und Oersted nebst Suenson genannt. Vollständiger findet man die Literatur oben Art. *Gas.* Bd. IV. S. 1035.

für ähnliche Zwecke mit genügendem Erfolge angewandt werden kann. Es schien ihnen nöthig, den Kessel vorher zu probiren, und sie wollten hierzu eine solche Wasserpumpe anwenden, wie man sie bei den hydraulischen Pressen gebraucht, hätten aber dann dem Reglement gemäſs einen Druck von 150 Atmosphären anwenden müssen; allein ehe sie diesen erreichten, lieſsen einige Sprünge im Metall und mehreren Vernietungen ebenso viel Wasser durch, als die Pumpe zuführte, weswegen sie diesen Punct nicht erreichen konnten. Bei diesen Probeversuchen überzeugten sie sich von der Ungenauigkeit der konischen Ventile zur Berechnung des Druckes, indem diese wegen der ungleichen Adhäsion der Kegel bei unverändertem Drucke sehr ungleiche Resultate geben. Sie räumen daher den ebenen Ventilen einen entschiedenen Vorzug ein, obgleich sie groſse Sorgfalt erfordern, wenn sie genau schlieſsen sollen. Einen solchen Apparat bei dem Kessel anzubringen hätte lange Zeit erfordert und dennoch blieb es ungewiſs, bis wie weit die erhöhete Temperatur die Cohäsion des Metalls schwächen würde. Deswegen machten sie einen Probeversuch, wobei das Thermometer, durch ein Fernrohr beobachtet, bis 240° C. stieg, eine Temperatur, die einer Spannung von 60 Atmosphären nahe kommt, so daſs diese Probe für den beabsichtigten Zweck genügte. Der auf diese Weise geprüfte Dampfkessel wurde in einen Ofen eingemauert, dessen dicke Wandungen einen schnellen Wechsel der Wärme hinderten. Durch den Deckel des Kessels ging ein aus Flintenläufen zusammengesetztes Rohr dd′ zuerst lothrecht in die Höhe, dann in geringer Neigung d′d″ herabwärts, und senkte sich mit dem andern Ende in das Quecksilbergefäſs f. Dieses Rohr muſste sich bei dem Versuche mit niedergeschlagenem Wasser füllen, und um den Druck desselben, welcher zu dem des Dampfes hinzukam, zu berechnen, wurde das Rohr vor dem Versuche mit Wasser gefüllt und durch einen auf die Leinwand bei V tröpfelnden Wasserstrahl stets abgekühlt. Durch niedergeschlagene Dämpfe konnte daher das in dem eisernen Gefäſse sich beim Sinken des Quecksilbers anhäufende Wasser stets wieder ersetzt werden, und zur Messung des sinkenden Queksilberniveaus diente die stets mit dem Gefäſse correspondirende Quecksilbersäule pk in der gläsernen, eben durch das Bleirohr ox verbundenen Röhre.

Zu den schwierigsten Aufgaben gehörte die Messung der Temperatur, weil der mechanische Druck auf das Thermometer vermieden werden mufste. Deswegen waren in den Kessel durch den Deckel zwei unten verschlossene und so weit verdünnte Flintenläufe eingesenkt, dafs sie gerade dem äufseren Drucke widerstanden. Der eine derselben reichte fast bis auf den Boden hinab, der zweite nicht bis zu einem Viertel der Tiefe; in beide wurde Quecksilber gegossen, und in dieses waren die Thermometer hinabgelassen, deren eins die Wärme des Wassers, das andere die des Dampfes anzeigte; beide schwankten augenblicklich, wenn die Elasticität des Wassers wuchs oder abnahm. Um aber die Correction wegen der ungleichen Temperatur des Quecksilberfadens in der Röhre zu finden, war diese beim Austritt aus dem Kessel rechtwinklig umgebogen, und das Ende derselben befand sich in einer Glasröhre, durch welche aus einem Gefäfse stets Wasser flofs, dessen wenig veränderliche Temperatur von einem andern kleinen Thermometer angezeigt wurde. Aus dem Stande des grofsen, umgebogenen Thermometers und dem des kleinen, welches die bleibende Wärme der Röhre des ersteren angab, liefs sich die erforderliche Correction leicht finden[1]. Bei der Einrichtung des Ventils bb′ war hauptsächlich die Sicherheit berücksichtigt. Die angehängten Gewichte bestanden aus mehreren Stücken und konnten daher dem jedesmal erforderlichen Drucke angepafst werden. War dieser erreicht und wurde dann das Ventil gehoben, so glitt das eine Gewicht gegen die Mitte, das andere an das Ende seines Hebelarmes, und das Ventil schlofs sich nicht wieder. Fig. 79.

Beim Anfange jedes Versuches wurde eine der zu erreichenden Temperatur nach Schätzung angemessene Menge Brennmaterial in den Ofen gebracht; das Ventil und die Röhre dd′ an ihrem oberen Ende blieben offen, bis durch etwa 20 Minuten langes Sieden des das untere Ende des kürzeren Thermometerbehälters nicht ganz erreichenden Wassers alle Luft aus dem Kessel getrieben war. Nachdem dann das Ventil und das Ende d′ der Röhre geschlossen, die Wasserströmungen bei V und um das Manometer geöffnet worden waren, liefs man die Hitze so

---

1 Die Zeichnung stellt blofs bei dem längeren Thermometer diese Vorrichtung dar, bei dem kürzeren war sie die nämliche.

lange wachsen, bis ihre Zunahme nur noch unmerklich fortschritt, dann wurden die vier Thermometer des Kessels, die Höhe der Quecksilbersäule im Rohre op und der Stand des Manometers beobachtet; bloſs die Gröſsen, welche dem Maximum zugehörten, wurden berechnet, die vorhergehenden und nachfolgenden dienten zunächst zur Controle etwa beim Ablesen begangener Fehler. Nachdem das Monometer und die Thermometer merklich gefallen waren, wurde neues Brennmaterial eingebracht und eine zweite Bestimmung gesucht, auf welche Weise zwar keine nach steigenden Temperaturen zusammenhängende Reihe, aber doch eine hinlängliche Anzahl verschiedener Beobachtungen erhalten wurde. Die anfänglich gehegte Absicht, bis zu 30 Atmosphären zu gelangen, lieſs sich nicht erreichen, weil zu viel Wasser und Dampf aus dem Kessel entwich, und man gelangte daher nur bis zu 24 Atmosphären[1]. Die folgende Tabelle enthält die berechneten Resultate.

| Zeit der Beob. | Thermometer | | Elasticität | |
|---|---|---|---|---|
| | kleines | groſses | Quecksilber bei 0° in Met. | Atmosphären von 0,76 Met. |
| 29. Oct. | 122°,97 | 123°,70 | 1,6295 | 2,140 |
| 25. — | 132,58 | 132,82 | 2,1767 | 2,870 |
| 28. — | 132,64 | 133,30 | 2,1816 | 2,880 |
| 28. — | 137,70 | 138,30 | 2,5386 | 3,348 |
| 29. — | 149,54 | 149,70 | 3,4759 | 4,584 |
| 28. — | 151,87 | 151,90 | 3,6868 | 4,860 |
| 25. — | 153,64 | 153,70 | 3,8810 | 5,120 |
| 2. Nov. | 163,00 | 163,40 | 4,9383 | 6,510 |
| 30. Oct. | 168,40 | 168,50 | 5,6054 | 7,391 |
| 28. — | 169,57 | 169,40 | 5,7737 | 7,613 |
| 23. — | 171,88 | 172,34 | 6,1510 | 8,114 |
| 28. — | 180,71 | 180,70 | 7,5001 | 9,893 |
| 25. — | 183,70 | 183,70 | 8,0325 | 10,600 |
| 28. — | 186,80 | 187,10 | 8,6995 | 11,480 |
| 22. — | 188,30 | 188,50 | 8,8400 | 11,660 |
| 25. — | 193,70 | 193,70 | 9,9989 | 13,190 |

1 Nach diesen Erfahrungen müssen die Angaben von Perkins, welcher mit seinen Hochdruckmaschinen viel weiter gekommen seyn will, an Vertrauen verlieren.

| Zeit der Beob. | Thermometer | | Elasticität | |
|---|---|---|---|---|
| | kleines | grofses | Quecksilber bei 0° in Met. | Atmosphären von 0,76 Met. |
| 28. Oct. | 198°,55 | 198°,50 | 11,0190 | 14,530 |
| 25. — | 202,00 | 201,75 | 11,8620 | 15,650 |
| 24. — | 203,40 | 204,17 | 12,2903 | 16,210 |
| 25. — | 206,17 | 206,10 | 12,9872 | 17,130 |
| 2. Nov. | 206,40 | 206,80 | 13,0610 | 17,230 |
| 24. Oct. | 207,09 | 207,40 | 13,1276 | 17,300 |
| 28. — | 208,45 | 208,90 | 13,6843 | 18,050 |
| 25. — | 209,10 | 209,13 | 13,7690 | 18,160 |
| 25. — | 210,47 | 210,50 | 14,0634 | 18,550 |
| 28. — | 215,07 | 215,30 | 15,4995 | 20,440 |
| 28. — | 217,23 | 217,50 | 16,1528 | 21,310 |
| 28. — | 218,30 | 218,40 | 16,3813 | 21,600 |
| 30. — | 220,40 | 220,80 | 17,1826 | 22,660 |
| 30. — | 223,88 | 224,15 | 18,1894 | 23,994 |

Die Abweichung der beiden Thermometer beträgt im Maximum 0°,7 und wird geringer, je höher die Temperatur steigt, weil der dann gebildete dichtere Dampf leichter Wärme an die kürzere eiserne Röhre, worin sich das kürzere Thermometer befand, abgab, und dieses weniger durch die Ausstrahlung des Deckels verlor. Nach Erwägung aller Umstände erscheinen die Angaben des längeren Thermometers als die zuverlässigsten. Die erhaltenen Werthe, als Ordinaten genommen, bildeten eine regelmäfsige Curve, in welche alle Endpuncte genau fielen, wonach also die Beobachtungen für zuverlässig gelten können. Uebrigens stimmten sie blofs mit den durch Southern und Taylor bis zu einem Drucke von 8 Atmosphären gefundenen überein, Arzberger aber legte einer Temperatur von 222° C. einen Druck von 20 Atmosphären bei, die einem solchen von 23 Atmosphären zugehört, und überhaupt scheint derselbe wegen der Einrichtung des zum Messen dienenden Ventils die Temperaturen stets zu hoch gefunden zu haben, weil das Thermometer dem unmittelbaren Drucke des heifsen Wassers ausgesetzt war[1].

535) Der wesentlichste Theil der Aufgabe ist, die Relation zwischen den Temperaturen und den zugehörigen Elasti-

1 Vergl. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 335 u. 339.

citäten des Dampfes durch eine Gleichung auszudrücken. Die früheren Versuche zur Lösung dieses Problems sind im Art. *Dampf* angegeben[1], und von denjenigen Formeln, welche dort mitgetheilt wurden, werden einige auch hier, aber als unzulässig, genannt. Diese sind die von PRONY, wonach für die Spannkraft = z und die Temperatur = x in Centesimalgraden

$$z = \mu_{,} \varrho_{,}^{x} + \mu_{,,} \varrho_{,,}^{x} + \mu_{,,,} \varrho_{,,,}^{x} \ldots$$

seyn soll. Die Länge des Calcüls zur Bestimmung der Constanten und auch nach der Auffindung derselben macht diese verwerflich. Ebenso wenig scheint den Berichterstattern die von LAPLACE vorgeschlagene, auch wie sie durch BIOT abgeändert worden ist, zweckmäſsig, und noch weniger die von URE, die nicht einmal als ein allgemeiner Ausdruck gelten kann, sondern nur einige Verhältnisse zwischen den Temperaturen und den Spannkräften angiebt.

Von den späteren Versuchen, eine allgemeine Gleichung für die den Temperaturen zugehörigen Spannkräfte des Wasserdampfes aufzufinden, mögen hier zuerst diejenigen folgen, welche die gelehrten Berichterstatter in ihrer schätzbaren Abhandlung gleichfalls anführen. Es wird dieses dazu dienen, den Weg näher zu bezeichnen, auf welchem diese zu ihren endlichen Resultaten gelangten; eine nähere Prüfung auch dieser Leistungen wird demnächst folgen. Zuerst finden sie die von LAPLACE gewählte Methode, die Elasticität der Dämpfe durch eine Reihe mit zunehmenden Exponenten der Temperaturen auszudrücken, nicht zweckmäſsig und daher auch die durch IVORY[2] hiernach aufgestellte Formel verwerflich. Den Argumentationen von ROCHE[3] stimmen sie zwar nicht bei, jedoch drückt die von ihm aufgestellte Formel die von ihnen beobachteten Gröſsen sehr genau aus. Für Temperaturgrade x

---

1 Eine ausführliche gelehrte Untersuchung von DIRKSEN über die Elasticität des Dampfes, worin aber zunächst nur das Wesen der Dampf- und Gasform als die Wirkung anziehender und abstoſsender Kräfte, nach der bekannten Ansicht von LAPLACE, in Betrachtung kommt, glaube ich hier, wenn auch nur kurz, erwähnen zu müssen. S. Berliner Denkschr. 1830. Math. Th. S. 1.

2 Philos. Mag. and Ann. T. I. p. 1.

3 Ann. de Chim. et Phys. 1830. Janv. Bullet. des Scienc. math. T. XIII. p. 193.

in Centesimalgraden, über 100° positiv, unter 100° negativ, ist die Elasticität im Millimetern:

$$f = 760 \times 10^{\frac{m x}{1 + 0{,}03 x}},$$

und wenn hierin aus ihren Beobachtungen der mittlere Werth von m = 0,1644 gesetzt, die Formel aber für t invertirt wird, so ist

$$t = \frac{11 (\text{Log.}\, f - \text{Log.}\, 760)}{0{,}1644 - 0{,}03 (\text{Log.}\, f - \text{Log.}\, 760)}.$$

Die von August[1] aufgefundene Formel verwerfen sie deswegen, weil nach ihr eine Spannung von 24 Atmosphären einer Temperatur von 214°,37 C. des Luftthermometers zugehören würde, statt daſs ihre Beobachtungen 220°,33 (224°,2 des Quecksilberthermometers) gaben. Nach Tregaskis[2] sollen die Elasticitäten in einer geometrischen Reihe vom Verhältniſs = 2 wachsen, wenn die Temperaturen gleichfalls in einer geometrischen Reihe vom Verhältniſs = 1,2 zunehmen, allein dieses stimmt mit ihren Messungen nicht überein. Eine wichtige, von mir übersehene, schon damals bekannte Formel wird von den Berichterstattern gleichfalls geprüft[3]. Diese, von den meisten englischen Gelehrten später beibehaltene ist von Thomas Young. Dieser gelehrte Physiker benutzte die Messungen hauptsächlich von Dalton, auſserdem aber auch von Schmidt, Bétancourt, Biker und Andern, und glaubte gefunden zu haben, daſs die allgemeinen Ausdrücke

$$e = 0{,}1781\,(1 + 0{,}006\, f)^7,$$

und

$$e = 0{,}18 + 0{,}007\, f + 0{,}00019\, f^2,$$

ersterer für hohe, letzterer für niedere Temperaturen, mit den Beobachtungen genügend übereinstimmen, wenn e die Elasticität in englischen Zollen und f Grade der Fahrenheit'schen Scale, von 32° an gezählt, bezeichnen. Die Vergleichung der berechneten und beobachteten Werthe ergiebt, daſs sie das verlangte Gesetz allerdings bis zur Siedehitze des Wassers genau genug angiebt, in den höheren Temperaturen zeigt sie aber

1 Poggendorff's Ann. XIII. 122.
2 Edinburgh Journ. of Science. N. XIX. p. 65. N. XX. p. 282.
3 Lectures on Nat. Philos. T. II. p. 400.

bedeutende Abweichungen von den wenigen ihm damals bekannten Messungen. Die französischen Akademiker konnten bloſs die erste Formel berücksichtigen, weil ihre Beobachtungen den Temperaturen über der Siedehitze zugehören, und diese ist es auch allein, welche die späteren englischen Physiker beachtet haben. CRICHTON[1] änderte in dieser Formel bloſs den Exponenten, indem er ihn = 6 nahm, weil dann die Messungen von URE besser damit übereinstimmten, und SOUTHERN[2] wählte statt dessen 5,13. Inzwischen gab TREDGOLD[3] jenem höheren Exponenten den Vorzug, denn seine Formel ist:

$$t = 85 \sqrt[6]{f} - 75,$$

wenn t die Temperaturen in Centesimalgraden von $0^0$ an und

---

1 Philos. Magaz. T. LIII. p. 266.

2 ROBISON Mech. Philos. T. II. p. 172. Daselbst ist der ganze Brief, welchen SOUTHERN an WATT schrieb, abgedruckt. Seine Formel, ausführlicher bezeichnet, ist für t = der Temperatur in Graden nach F.; e = Elasticität nach der Quecksilberhöhe in englischen Zoll, wenn T = t + 52; $E = e - \frac{1}{10}$; m = 94250000000 bezeichnet,

$$E = \frac{T^{5,14}}{m} \text{ und } T = \sqrt[5,14]{Em},$$

und da die Rechnung sich leichter mit Logarithmen anstellen läſst:

$$\text{Log. } E = 5,14 \text{ Log. } T - 10,97427,$$

$$\text{Log. } T = \frac{\text{Log. } E + 10,97427}{5,14}.$$

Noch bessere Uebereinstimmung erhielt er, wenn T = t + 51,5; m = 87344000000 und der Exponent = 5,13 genommen wird, unter der Voraussetzung, daſs der Siedepunct des Thermometers = 212° F. bei 30 Z. engl. bestimmt wurde. Dann sind die beiden Formeln

$$\text{Log. } E = 5,13 \text{ Log. } T - 10,94123,$$

$$\text{Log. } T = \frac{\text{Log. } E + 10,94123}{5,13}.$$

3 Traité des Machines à vapeur. 1828. 4. Traduit de MELLET. p. 101. Die Formel in ihrer einfachsten Gestalt, für y = der Länge der Quecksilbersäule in Centimetern und x in Centesimalgraden von 0° an gerechnet, ist folgende:

$$y = (a + bx)^6.$$

Wird diese für x invertirt, und werden die Constanten a und b aus Beobachtungen bestimmt, so erhält man die im Texte angegebene, worin aber die Constanten durch MELLET etwas abgeändert worden sind. Vergl. LAMÉ Lehrb. d. Physik. Gieſsen 1838. Th. I. S. 432.

f die Elasticitäten in Centimetern der Quecksilbersäule bezeichnet. Coriolis[1] endlich wählte für seine Formel den Exponenten = 5,355. Sie ist für f = der Elasticität in Atmosphären unter dem Drucke einer Quecksilbersäule von 0,76 Meter und für t in Centesimalgraden von 0° an:

$$f = \left(\frac{1 + 0{,}01878\,t}{2{,}878}\right)^{5{,}355},$$

woraus

$$t = \frac{2{,}878\sqrt[5{,}355]{f} - 1}{0{,}01878}.$$

Die Constanten hierin sind aus Dalton's Versuchen über 100° C. und aus denen der französischen Akademiker entnommen, die sie in ihrem provisorischen Berichte bekannt machten. Die Formel weicht sehr wenig von derjenigen ab, welche die französischen Akademiker bei der Berechnung der eben mitgetheilten Tafel anwandten, da sie die äufsersten Beobachtungen völlig genau ausdrückt, und bei den zwischenliegenden nur um etwa 0°,2 bis 0°,3 abweicht. Der gröfseren Bequemlichkeit wegen geben sie indefs der folgenden:

$$f = (1 + 0{,}7153 \, . \, t)^5,$$

also

$$t = \frac{\sqrt[5]{f} - 1}{0{,}7153}$$

den Vorzug, worin f die Elasticität in Atmosphären von 0,76 Met. Quecksilberdruck und t die Temperatur in Centesimalgraden von 100° an gerechnet, oberhalb positiv und unterhalb negativ, bezeichnen, das Intervall von 100° als Einheit genommen. Sehr interessant ist dann folgende Zusammenstellung:

1 Du calcul de l'effet des Machines 1829. 4. p. 58.

| Beobacht. Elasticität | | Temperaturen | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Meter der Quecksilbersäule | Atmosph. zu 0,76 Met. | beobachtet | berechnet | nach TREDGOLD | nach ROCHE | nach CORIOLIS |
| 1,6292 | 2,1400 | 123°,7 | 122°,97 | 123°,54 | 123°,58 | 123°,45 |
| 2,1816 | 2,8705 | 133,3 | 132,90 | 133,54 | 133,43 | 133,34 |
| 3,4759 | 4,5735 | 149,7 | 149,77 | 150,39 | 150,23 | 150,30 |
| 4,9383 | 6,4977 | 163,4 | 163,47 | 164,06 | 163,90 | 164,10 |
| 5,6054 | 7,3755 | 168,5 | 168,70 | 169,07 | 169,09 | 169,30 |
| 8,8400 | 11,6320 | 188,5 | 188,60 | 188,44 | 188,63 | 189,02 |
| 13,0610 | 17,1850 | 206,8 | 207,20 | 206,15 | 207,04 | 207,43 |
| 13,1370 | 17,2850 | 207,4 | 207,50 | 206,30 | 207,94 | 207,68 |
| 14,0634 | 18,5040 | 210,5 | 210,80 | 209,55 | 210,30 | 211,06 |
| 16,3816 | 21,5550 | 218,4 | 218,50 | 216,29 | 218,01 | 218,66 |
| 18,1894 | 23,9340 | 224,15 | 224,02 | 222,09 | 233,40 | 224,0 |

536) Aus dieser Tafel ergiebt sich die nahe Uebereinstimmung der nach allen Formeln berechneten Werthe mit dem beobachteten, am meisten aber ist dieses der Fall für die geringeren Pressungen bei der von TREDGOLD, für die gröſseren dagegen bei der der französischen Akademiker, die aber zugleich für Werthe unter 100° C. für gar nicht anwendbar erklärt wird, weil die Abweichungen mit den Verminderungen der Temperatur fortwährend wachsen. Die Ursache hiervon soll darin liegen, daſs die einzige in dieser, allerdings sehr bequemen Formel eingeführte Constante aus der letzten, also aus der der höchsten Temperatur zugehörigen Beobachtung entnommen worden ist. Aus diesem Grunde aber wird als sehr wahrscheinlich vorausgesetzt, daſs die Formel auch für höhere Temperaturen, mithin so weit, als die technische Anwendung erfordert, hinlängliche Genauigkeit gewährt, und es sind daher in der folgenden Tabelle die Werthe für die ersten 4 Atmosphären nach TREDGOLD's Formel, für die folgenden nach der der französischen Akademiker berechnet zusammengestellt.

| Elasticität | | Tem-peratu-ren | Druck gegen ein Quadrat-centimeter |
|---|---|---|---|
| Atmosphären | Quecksil-berdruck in Metern | | |
| 1,0 | 0,76 | 100°,00 | 1,033 Kilogr. |
| 1,5 | 1,14 | 112,20 | 1,549 — |
| 2,0 | 1,52 | 121,40 | 2,066 — |
| 2,5 | 1,90 | 128,80 | 2,582 — |
| 3,0 | 2,28 | 135,10 | 3,099 — |
| 3,5 | 2,66 | 140,60 | 3,615 — |
| 4,0 | 3,04 | 145,40 | 4,132 — |
| 4,5 | 3,42 | 149,06 | 4,648 — |
| 5,0 | 3,80 | 153,08 | 5,165 — |
| 5,5 | 4,18 | 156,80 | 5,681 — |
| 6,0 | 4,56 | 160,20 | 6,198 — |
| 6,5 | 4,94 | 163,48 | 6,714 — |
| 7,0 | 5,32 | 166,50 | 7,231 — |
| 7,5 | 5,70 | 169,37 | 7,747 — |
| 8 | 6,08 | 172,10 | 8,264 — |
| 9 | 6,84 | 177,10 | 9,297 — |
| 10 | 7,60 | 181,60 | 10,330 — |
| 11 | 8,36 | 186,03 | 11,363 — |
| 12 | 9,12 | 190,00 | 12,396 — |
| 13 | 9,88 | 193,70 | 13,429 — |
| 14 | 10,64 | 197,19 | 14,462 — |
| 15 | 11,40 | 200,48 | 15,495 — |
| 16 | 12,16 | 203,60 | 16,528 — |
| 17 | 12,92 | 206,57 | 17,561 — |
| 18 | 13,68 | 209,40 | 18,594 — |
| 19 | 14,44 | 212,10 | 19,627 — |
| 20 | 15,20 | 214,70 | 20,660 — |
| 21 | 15,96 | 217,20 | 21,693 — |
| 22 | 16,72 | 219,60 | 22,726 — |
| 23 | 17,48 | 221,90 | 23,759 — |
| 24 | 18,24 | 224,20 | 24,792 — |
| 25 | 19,00 | 226,30 | 25,825 — |
| 30 | 22,80 | 236,20 | 30,990 — |
| 35 | 26,60 | 244,85 | 36,155 — |
| 40 | 30,40 | 252,55 | 41,320 — |
| 45 | 34,20 | 259,52 | 46,485 — |
| 50 | 38,00 | 265,89 | 51,650 — |

537) Durch Rudberg veranlaſst unterwarf Spasky[1] die Beobachtungen der französischen Akademiker und die aus ihnen abgeleitete Formel einer scharfen Prüfung, und fand, daſs

1 Poggendorff's Ann. XXX. 331.

von 3,3 Atmosphären an die beobachteten Werthe sämmtlich gröfser sind, als die berechneten, und zwar um Unterschiede, deren Maximum bei 18 Atmosphären 0°,27 beträgt. Die Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate ergab einen Fehler des Coefficienten der Formel von — 0,00372853 und des Exponenten von + 0,00132595. Hiernach wird der Coefficient der Dulong'schen Formel statt 0,7153 richtiger = 0,719, der Exponent 5 aber = 4,9987, und die verbesserte Formel heifst also:

$$f = (1 + 0{,}719\,t)^{4{,}9987}$$

und

$$t = \frac{\sqrt[4{,}9987]{f} - 1}{0{,}719},$$

welche allerdings die beobachteten Werthe sehr genau ausdrückt, indem die Differenzen bald positiv, bald negativ sind, die Summe ihrer Quadrate aber nur 0,14858 beträgt, statt dafs sie nach der Dulong'schen Formel = 0,80718 ist.

538) Ehe wir zu demjenigen übergehn, was später über diese Formel oder überhaupt in Beziehung auf einen allgemeinen analytischen Ausdruck der Elasticitäten des Wasserdampfes vorgebracht worden ist, müssen wir zuvor den wesentlichen Inhalt einer sehr gediegenen Arbeit mittheilen, welche sich über das Problem im Allgemeinen und über die verschiedenen Versuche, dasselbe zu lösen, verbreitet, um so mehr, als die so eben mitgetheilte Formel blofs für Temperaturen über der Siedehitze des Wassers anwendbar und blofs auf die Resultate der Versuche gegründet ist, die wir den höchst schätzbaren Bemühungen der französischen Akademiker verdanken. Egen[1] beschäftigt sich in seiner Abhandlung blofs mit dem mathematischen Theile der Aufgabe, indem er für die bereits bekannt gewordenen Messungen einen allgemeinen analytischen Ausdruck zu finden sucht. Da hierbei zugleich alles dasjenige berücksichtigt worden ist, was der Art. *Dampf* dieses Werkes enthält, so können wir hierüber schnell hinweggehn, und es wird genügen, nur dasjenige aufzunehmen, was zur Erhaltung des Zusammenhanges dieser schätzbaren Uebersicht der wesentlichsten früheren

1 Poggendorff's Ann. XXVII. 9.

Bemühungen unentbehrlich ist, wobei wir die Nachweisung der Quellen zu ergänzen uns erlauben werden.

Egen stellt drei Reihen von Messungen zusammen, die ihm die genauesten zu seyn scheinen, so schwierig es auch ist, namentlich bei niederen Graden merkliche Fehler in den Angaben der Thermometer und Barometer zu vermeiden. Für Grade unter dem Gefrierpuncte wählt er folgende:

| Nro. | Temperatur | Expansivkraft | Beobachter |
|---|---|---|---|
| 1 | — 19°,59 C. | $\frac{1}{561}$ Atmosph. | Gay-Lussac[1] |
| 2 | — 12,50 | $\frac{1}{312}$ — | Muncke[2] |
| 3 | — 6,62 | $\frac{1}{223}$ — | August[3] |
| 4 | — 6,25 | $\frac{1}{223}$ — | Muncke[2] |
| 5 | — 4,44 | $\frac{1}{200}$ — | Dalton[4] |
| 6 | 0,00 | $\frac{1}{150}$ — | Gay-Lussac[1], Dalton[4], Ure[5], August[3] |
| (7) | — 4,44 | $\frac{1}{177}$ — | Ure[5] |
| (8) | 0,00 | $\frac{1}{165}$ — | Muncke[2] |

Für die Temperaturen zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers scheinen ihm die Messungen von Dalton und Ure die angemessensten. Die Elasticitäten sind in englischen Zollen folgende:

| Temperaturen | Elasticitäten | Temperaturen | Elasticitäten |
|---|---|---|---|
| 0°,00 C. | 0,200 Zoll | 40°,89 C. | 3,30 Zoll |
| 4,44 | 0,266 | 60,00 | 5,76 |
| 10,00 | 0,365 | 76,67 | 12,04 |
| 15,56 | 0,520 | 87,78 | 19,00 |
| 21,11 | 0,720 | 93,33 | 23,60 |
| 29,44 | 1,170 | 98,89 | 28,88 |
| 32,22 | 1,360 | 100,00 | 30,00 |
| 37,78 | 1,860 | | |

Endlich kommen für die höheren Temperaturen die Beobachtungen der pariser Akademiker allein in Anwendung, und dieses wird wohl fortwährend geschehen müssen, bis neue Ver-

1 Biot Traité T. I. p. 286. Statt der in Art. *Dampf* Bd. II. S. 340. Z. 16 angegebenen — 15°,67 C. ist — 15°,67 R. zu lesen.

2 Physikal. Abhandl. Giefs. 1816. S. 195.

3 Poggendorff's Ann. XIII. 133.

4 Manchester Mem. T. V. S. 550.

5 Philos. Trans. 1818. p. 356. Schweigger's Journ. XXVIII. 329.

suche mit gleicher oder noch gröſserer Genauigkeit angestellt worden sind, was so bald nicht zu erwarten steht. Eine Verbindung derselben mit den früheren könnte der Richtigkeit nur Abbruch thun.

539) Die zunächst folgende Beurtheilung der früheren Formeln stimmt im Ganzen mit dem überein, was in Beziehung auf dieselben bereits gesagt worden ist[1], und wir begnügen uns daher, die Abweichungen und nöthigen Verbesserungen in Anmerkungen hinzuzufügen. Die erwähnten Formeln sind zuerst die beiden von Prony, die von G. G. Schmidt, von Soldner und Laplace mit Rücksicht auf die Modificationen, welche diese durch Biot erhielten. Diesen ähnlich ist die von Ivory[2] in Vorschlag gebrachte Formel, worin die Coefficienten aus den Beobachtungen von Ure bestimmt sind. Hiernach ist für Quecksilberhöhen in englischen Zollen und Thermometergraden nach Fahrenheit die Elasticität $\varepsilon$:

$$\text{Log. } \varepsilon = 30 + 0{,}0087466\,(t-212) - 0{,}000015178\,(t-212)^2 + 0{,}000000024825\,(t-212)^3.$$

Bei den letzten drei Formeln wurden nur so viele Beobachtungen aufgenommen, als zur Bestimmung der Coefficienten nöthig waren, Paucker[3] aber wandte auf alle zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers liegende die Methode der kleinsten Quadrate an, und erhielt dann für englische Zolle und Temperaturen nach der 80theil. Scale:

$$\text{Log. } \varepsilon = 30 - 0{,}019127878274\,(80-t) - 0{,}0001096547488\,(80-t)^2 + 0{,}00000010953936\,(80-t)^3.$$

Die dritte Formel dieser Art ist die von Kämtz[4], sie alle aber haben den gemeinschaftlichen Fehler, daſs sie bei ihrer Anwendung auf sehr hohe Temperaturen zu widersinnigen Resultaten führen, indem die Elasticität des Dampfes danach wieder abnimmt oder gar negativ wird. Man vermindert diesen Fehler durch die Aufnahme mehrerer Glieder, aber dann werden sie durch ihre Weitläuftigkeit unbrauchbar. Weit mehr

---

1 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 321 ff.

2 Philos. Magaz. and Ann. T. I. p. 1. Sie ist neuer, als der Art. *Dampf.*

3 Ueber die Anwendung der Methode der kleinsten Quadratsumme auf physikalische Beobachtungen. Mitau 1819. 4. S. 26.

4 Untersuchungen über die Expansivkraft der Dämpfe. Halle 1826. 8. Vergl. Art. *Dampf.* S. 345.

den Beobachtungen, hauptsächlich in den niederen Graden, angemessen und nur für die höheren und höchsten abweichend ist die Formel von August[1], welcher bemerkte, dafs die Expansionen des Wasserdampfes für gleichmäfsig wachsende Temperaturen eine geometrische Reihe mit abnehmenden Exponenten bilden, und hiernach annahm, dafs sie durch die allgemeine Formel

$$e = am^{\frac{1}{1+\beta t}}$$

sich ausdrücken lassen. Indem er hierin die einzelnen Gröfsen nach bekannten Werthen bestimmte, so erhielt er für metrisches Mafs und Centesimalgrade

$$\text{Log. } \varepsilon = \frac{23{,}945371\,t}{800+3t} - 2{,}2960383,$$

also

$$t = \frac{800}{3} \cdot \frac{2{,}2960383 + \text{Log. } \varepsilon}{5{,}6857520 - \text{Log. } \varepsilon}.$$

Dieser analytische Ausdruck hat noch den Vorzug, dafs er für die höchsten Temperaturen nicht zu Ungereimtheiten führt, doch ist (§. 535) bemerkt worden, dafs er für hohe Temperaturen von den Beobachtungen bedeutend abweichende Werthe giebt.

540) Egen führt einige vergebliche Versuche, die Relationen zwischen den Temperaturen und den Elasticitäten des Wasserdampfes auszudrücken, die im Artikel *Dampf*[2] nur beiläufig angegeben worden sind, weiter aus. Dahin gehört zuerst das von Dalton aufgestellte Gesetz, wie dieses durch Gilbert[3] mitgetheilt worden ist. Werden die Temperaturunterschiede nach Gröfsen von 11°,25 F. gemessen, und nennt man 1,25 = a, 0,015 = b, so gehören folgende Temperaturen und Expansivkräfte einander zu:

---

1 Aus den von Kämtz zusammengestellten mittleren Werthen der zuverlässigsten Messungen fand er, dafs die Divisionen jeder folgenden Gröfse durch die vorhergehende gleichmäfsig abnehmende Quotienten geben. Es ist nämlich $\frac{4{,}62}{2{,}10} = 2{,}20$; $\frac{10{,}08}{4{,}62} = 2{,}18$; $\frac{20{,}35}{10{,}08} = 2{,}02$.... Wären alle Quotienten gleich, so bildeten die Elasticitäten eine geometrische Reihe und könnten durch $e = am^t$ ausgedrückt werden.

2 Bd. II. S. 329. 333. 347.

3 Dessen Annalen Bd. XV. S. 34.

| Temperaturen. | Elasticitäten in engl. Zoll. |
|---|---|
| 212 . . . . . . | 30 |
| 212 + 1 (11,25) . | $30^{(a-b)}$ |
| 212 + 2 (11,25) . | $30^{(a-b)(a-2b)}$ |
| ⋮ | ⋮ |
| 212 + m (11,25) . | $30^{(a-b)(a-2b)(a-3b)\ldots(a-mb)}$. |

Ferner für Temperaturen unter dem Siedepuncte:

| Temperaturen. | Elasticitäten. |
|---|---|
| 212 . . . . . . | 30 |
| 212 — 1 (11,25) . | $30^{\frac{1}{a}}$ |
| 212 — 2 (11,25) . | $30^{\frac{1}{a(a+b)}}$ |
| 212 — 3 (11,25) . | $30^{\frac{1}{a(a+b)(a+2b)}}$ |
| ⋮ | ⋮ |
| 212 — m (11,25) . | $30^{\frac{1}{a(a+b)(a+2b)\ldots(a+(m-1)b)}}$. |

Dafs diese Ausdrücke fehlerhaft sind, ergiebt sich bald, denn zuerst haben sie keine allgemeine Gültigkeit, weil für m nur ganze Zahlen zulässig sind. Setzt man ferner $mb = 0{,}25$, also $m = 16$, so giebt dieses das Maximum der Expansivkraft für $212° + 180° = 392°$ F, und von hier an werden die Expansivkräfte wieder abnehmend. Setzt man $mb = 1{,}25$, so erhält man für die Temperatur 1145°,75 F. die Spannkraft = 1 Zoll, und sie bleibt bei allen höheren Temperaturen unverändert. Ebenso verhält es sich mit der von Ure angegebenen Regel, welche Egen auf folgende Weise anschaulich macht.

| Temperaturen. | Elasticitäten in engl. Zoll. |
|---|---|
| 210° F. . . . . . . | 28,9 |
| 210 + 10 . . . . | 28,9 (1,23) |
| 210 + 2 × 10 . . . | 28,9 (1,23) (1,22) |
| ⋮ | ⋮ |
| 210 + m . 10 . . . | 28,9 (1,23) (1,22) .... (1,23 — m . 0,01). |

Ferner für abnehmende Temperaturen:

| | |
|---|---|
| 210 — 10 . . . . . | 28,9 : (1,24) |
| 210 — 2 × 10 . . . | 28,9 : (1,24) (1,25) |
| ⋮ | ⋮ |
| 210 — m . 10 . . . | 28,9 : (1,24) (1,25) ... (1,23 + m . 0,01). |

Für m = 23, also 440° F. erhält man das Maximum der Elasticität; von da an nimmt sie ab, und wird für m = 123 oder für 1440° F. = 0, was unmöglich mit dem Naturgesetze bestehn kann. Die von Evans aufgestellte Regel, dafs die Elasticität sich für $16\frac{2}{3}$ Grad C. verdoppele, gilt zwar für 80° C., unter dieser aber bedarf es einer geringeren, über derselben einer gröfseren Wärmezunahme, wenn die Expansivkraft sich verdoppeln soll. Schon hieraus ergiebt sich, dafs die von Christian[1] aufgestellte Regel, die Elasticität werde durch eine Temperaturerhöhung von 22° C. verdoppelt, nicht allgemein gültig sein kann; sie pafst nur unmittelbar über dem Siedepuncte. Ueber seine allgemeine Formel ist am gehörigen Orte[2] ausführlich gehandelt worden. Die von den französischen Akademikern (§. 535) gleichfalls verworfene Formel von Tregaskis[3] ist auf die Voraussetzung gegründet, dafs die Elasticitäten und Temperaturen geometrische Progressionen bilden, deren Exponenten 1 und 1,2 seyn sollen. Hiernach wäre

$$\varepsilon = 2^{\frac{\text{Log. } t - 2}{\text{Log. } 1{,}2}}$$

oder

---

1 Mécanique industrielle. T. II. p. 240. Diese Formel wird als vorzugsweise geeignet zur Berechnung des Effectes der Dampfmaschinen in Schutz genommen durch Bezaine, in Mém. de l'Acad. de Petersb. VIme Sér. T. II. Livr. III. Sobald man blofs diesen Zweck im Auge hat, läfst sich dagegen nichts einwenden; denn der gewöhnliche Druck bei Dampfmaschinen ist der atmosphärische oder ein nur wenig höherer, und wenn man auch zu höheren Pressungen bei den sogenannten Hochdruckmaschinen übergeht, so geschieht dieses doch nicht in einer solchen Ausdehnung, dafs hieraus bedeutende Abweichungen von der aufgestellten Regel erwachsen könnten. Ganz anders aber gestaltet sich die Sache, wenn von einer Formel die Rede ist, die ebensowohl die Elasticitäten bei sehr niederen, als auch bei sehr hohen Temperaturen den Messungen genügend ausdrücken soll. Eben dieses läfst sich sagen über das durch Dufour ausgesprochene Gesetz, welcher für die Zunahme des Druckes um eine Atmosphäre von 100° an eine stets abnehmende Vermehrung der Thermometergrade annimmt. Hiernach gehören für 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 u. s. w. Atmosphären Druck die Temperaturen: 100; 122; 135; 145; 153; 160; 166 u. s. w., deren Unterschiede = 22; 15; 10; 8; 7; 6 u. s. w. sind.

2 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 337.

3 Ann. de Chim. et Phys. 1830. Janv. Edinburgh Journ. of Science. N. XIX. p. 68. N. XX. p. 282.

$$\text{Log. } \varepsilon = \frac{(\text{Log. } t - 2) \text{ Log. } 2}{\text{Log. } 1,2},$$

doch weicht dieses in höheren Temperaturen sehr merklich von den Beobachtungen ab.

YOUNG's Formel und die von SOUTHERN sind oben (§. 535) erwähnt worden, es wird hier aber hinzugesetzt, daſs JOHN FAREY in seinem groſsen Werke über Dampfmaschinen[1] statt der Gröſse $T = t + 52$, welche SOUTHERN selbst in $T = t + 51,5$ verwandelt hatte, die Gröſse $T = t + 51,3$ wählte. Wendet man diese unbedeutend veränderte Formel an, so zeigen sich folgende Abweichungen der nach ihr berechneten und durch sichere Beobachtungen gefundenen Werthe:

| Expansivkraft | Temperaturen wahre | Temperaturen berechnete | Unterschiede. |
|---|---|---|---|
| $\frac{1}{150}$ Atmosph. | 0°,0 C. | 1°,6 C. | + 1°,6 |
| 2 — | 121,1 | 121,1 | 0,0 |
| 4 — | 145,0 | 145,5 | + 0,5 |
| 8 — | 171,8 | 173,3 | + 1,5 |
| 16 — | 203,1 | 204,6 | + 1,5 |
| 24 — | 224,2 | 225,4 | + 1,2 |

In niedrigen und sehr hohen Temperaturen weicht sie also am meisten ab, weniger aber, als irgend eine der frühern Formeln. Die ihr fast gleiche von CRICHTON wird hier bloſs beiläufig erwähnt, sie heiſst aber, wie POGGENDORFF in einer Anmerkung hinzusezt:

$$6\,[\text{Log. } (t + 85) - 2,22697] = \text{Log. } (\varepsilon - 0,09).$$

Ebenso giebt EGEN nur kurz die Formel von CORIOLIS an, prüft aber näher die von TREDGOLD, welche nach ihm für $t'$ in Graden nach F. und $\varepsilon' =$ der Elasticität in englischen Zollen der Quecksilbersäule heiſst:

$$\varepsilon' = \frac{(t' + 100)^6}{177},$$

nach MELLET aber für Meter und Centesimalgrade:

$$100\,\varepsilon'' = \frac{(t + 73)^6}{84},$$

oder besser

$$100\,\varepsilon'' = \frac{(t + 75)^6}{85}.$$

1 A Treatise on the Steam-Engine. Lond. 1828. 4. p. 72.

Die Prüfung derselben giebt folgende Resultate:

| Expansivkraft | Temperatur wahre | Temperatur berechnete | Abweichung. |
|---|---|---|---|
| $\frac{1}{150}$ Atmosph. | 0°,0C. | 1°,3C. | + 1°,3C. |
| 0,25 — | 65,5 | 63,8 | — 1,7 |
| 0,5 — | 81,7 | 80,9 | — 0,8 |
| 2 — | 121,1 | 121,4 | + 0,3 |
| 4 — | 145,0 | 145,4 | + 0,4 |
| 8 — | 171,8 | 172,4 | + 0,6 |
| 20 — | 214,7 | 213,2 | — 1,5 |
| 24 — | 224,2 | 222,1 | — 2,1 |

wonach also die Unterschiede gröfser sind, als wenn man nach Farey's Formel rechnet. Die von den französischen Akademikern gefundene Formel weicht von den Beobachtungen bei niederen Temperaturen noch stärker ab, als die zuletzt erwähnten, für höhere Temperaturen über der Siedehitze nur um 0°,6, wonach sie also in diesem Bereiche für ziemlich genau gelten kann.

Endlich prüft Egen noch diejenigen Formeln, welche auf theoretische Gründe gestützt sind. Dahin gehört zuerst die von Poisson, worüber er auf gleiche Weise urtheilt, als bereits oben[1] geschehen ist. Mayer's Formel verwirft er deswegen, weil sie zu sehr von den Beobachtungen der pariser Akademiker abweichende Resultate giebt. Eben dieses ist der Fall, wenn man in ihr die aus Arzberger's Versuchen entnommenen Constanten einführt[2], oder diejenigen, welche Kämtz[3] aus Dalton's Messungen mittelst der Methode der kleinsten Quadrate gefunden hat, wonach sie für pariser Zolle und Grade nach R. heifst:

$$\text{Log. } \varepsilon = 5{,}626 + \text{Log. } (213{,}34 + t) - \frac{1680{,}5944541}{213{,}34 + t},$$

so dafs also nach Egen diese Formel, ungeachtet der grofsen Aufmerksamkeit, die man ihr in Deutschland geschenkt hat, gänzlich zu verwerfen scheint. Die zuletzt gleichfalls erwähnte Formel von Roche ist oben (§. 535) schon mitgetheilt worden.

541) Ehe wir die weiteren Untersuchungen hier aufnehmen,

1 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 342. Vergl. G. LXXVI. 280.

2 Auch hierüber s. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 343 ff.

3 Untersuchungen über die Expansivkraft der Dämpfe. Halle 1826.

sey es uns erlaubt, einige Bemerkungen vorauszuschicken. Ob die Mayer'sche Formel in der That so verwerflich sey, als hier angenommen wird, bleibt noch immer fraglich. Auf jeden Fall sind die Principien, worauf sie beruhet, nicht durchaus verwerflich, das Mittel der Prüfung aber, sie den späteren Messungen, namentlich denen der Pariser Akademiker, anzupassen, mufs nothwendig als unzulässig erscheinen. Ein Hauptelement derselben ist der Coefficient der Ausdehnung expansibler Flüssigkeiten durch Wärme. Dieser ist $=\frac{1}{213}$ nach der 80theil. Scale, also 0,003755 für 1° C. angenommen, und da er nach den neuesten Untersuchungen (§. 493) nur 0,003646 beträgt, so konnte schon aus diesem Grunde die numerische Entwickelung der Formel keine richtigen Gröfsen geben. Zur Bestimmung der Constanten wurden die Resultate der damals bekannten Messungen, und unter diesen die von Arzberger, genommen; da aber viele der ersteren und namentlich die letzteren nach den Pariser Messungen als falsch erscheinen, so war es weder für Arzberger noch für Kämtz möglich, auf diesem Wege zu einer den Beobachtungen der Pariser Akademiker genügenden Formel zu gelangen. Endlich nahm Mayer den atmosphärischen Luftdruck zu 336 Par. Linien an, statt dafs derselbe 0,76 Meter oder 336,905 Par. Linien beträgt, wonach also alle Bestimmungen für Atmosphären im Verhältnifs von 336 : 336,905 zu klein sind. Inzwischen könnte Letzteres keine sehr bedeutenden Unterschieden herbeiführen, wenn nur die für höhere Temperaturen zum Grunde gelegten Messungen genauer wären, allein die französischen Akademiker bemerken (§. 534), dafs die Temperatur von 222° C., welche Arzberger für 20 Atmosphären gefunden hat, nach ihnen einem Drucke von 23 Atmosphären zugehöre, der Unterschied der Temperaturen für diese beiden Pressungen beträgt aber 7°,2 C., und hieraus folgt daher nothwendig, dafs alle nach einer Formel berechneten Temperaturen, worin jene Messungen eingeführt sind, zunehmend zu hoch seyn müssen. Vergleichen wir die den höheren Pressungen zugehörigen Temperaturen, wie sie im Art. *Dampf* nach der Mayer'schen Formel berechnet worden sind, mit den durch die französischen Akademiker gefundenen, so erhalten wir folgende Unterschiede in genäherten Werthen:

| Atmosphären | Temperaturen Mayer | Akademiker | Unterschiede. |
|---|---|---|---|
| 5 | 155° C. | 153° C. | 2° C. |
| 10 | 185 | 181 | 4 |
| 15 | 205 | 200 | 5 |
| 20 | 221 | 214 | 7 |

Hieraus ergiebt sich, dafs die Formel mit einem Fehler behaftet ist, welcher durch Einführung richtiger Constanten wegfallen würde. Der Mangel an Uebereinstimmung der nach ihr berechneten Werthe mit den Pariser Messungen, die bei der Bestimmung der Constanten gar nicht, statt ihrer aber erwiesen falsche berücksichtigt wurden, beweiset also durchaus nicht gegen ihre Zulässigkeit, vielmehr ist es rücksichtlich ihrer Einfachheit und Bequemlichkeit, wie nicht minder der Richtigkeit der Principien, die bei ihr zum Grunde liegen, allerdings der Mühe werth, nach Einführung neuer Constanten zu versuchen, wie nahe die nach ihr berechneten Werthe mit den genauesten, durch Beobachtungen gefundenen übereinstimmen.

Die zweite Bemerkung betrifft die Frage, welche bereits erörtert wurde[1], ob nämlich die Elasticität des Dampfes über dem Siedepuncte des Wassers anderen Gesetzen unterliege, als unter demselben. Nach abermaliger Prüfung glaube ich dieselbe auch jetzt noch verneinen zu müssen, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil das Sieden nicht an eine gewisse Temperatur gebunden ist, sondern lediglich vom Luftdrucke abhängt, mithin auch keinen Wendepunct der Elasticitäten herbeiführen kann. Man könnte auch noch das Argument geltend machen, dafs die Wärme des Dampfes, welche seine Elasticität bedingt, eine constante Gröfse ist, sobald wir die Summe der latenten und der sensiblen nehmen, und also auch hier keine Grenze eintritt, aufser dann, wenn die latente $=0$ wird, also etwa bei 650° C. Ist aber diese Annahme gegründet, so kann auch die Formel der französischen Akademiker nicht völlig richtig seyn, da sie die Elasticitäten des Dampfes unter dem Siedepuncte nicht genau ausdrückt, vielmehr mufs man bei der Auffindung einer jeden Formel sowohl die geringsten, als auch die gröfsten Elasticitäten berücksichtigen, was auch bei spätern Versuchen geschehen ist.

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 550.

542) Egen hielt es nicht für räthlich, auf theoretische Argumentationen eine Formel zu gründen, weil uns die eigentlichen Gesetze für das Verhalten der Wärme rücksichtlich der durch sie bewirkten Expansion noch nicht hinlänglich bekannt sind, und er zog daher vor, diese aus den ihm als die genauesten erscheinenden Messungen zu entwickeln, indem er diejenige Reihe aufsuchte, welche die Temperaturen für eine geometrische Progression der Elasticitäten bilden. Hierzu verhalf ihm die Aufsuchung folgender Differenzen:

| Expansion Atmosph. | Temperaturen | Differenzen $\Delta'$ | $\Delta''$ | $\Delta'''$ |
|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{128}$ | 2°,3 C. | | | |
| $\frac{1}{64}$ | 13,6 — | 11,3 | | |
| $\frac{1}{32}$ | 25,4 — | 11,8 | 0,6 | |
| $\frac{1}{16}$ | 37,9 — | 12,5 | 0,7 | 0,1 |
| $\frac{1}{8}$ | 51,2 — | 13,3 | 0,8 | 0,1 |
| $\frac{1}{4}$ | 65,5 — | 14,3 | 1,0 | 0,2 |
| $\frac{1}{2}$ | 81,7 — | 16,2 | 1,8 | 0,8 |
| 1 | 100,0 — | 18,3 | 2,1 | 0,3 |
| 2 | 121,1 | 21,1 | 2,8 | 0,7 |
| 4 | 145,0 | 23,9 | 2,8 | 0,0 |
| 8 | 171,8 | 26,8 | 2,9 | 0,1 |
| 16 | 203,1 | 31,3 | 4,5 | 1,6 |

Nimmt man die dritten Differenzen als constant an, so läfst sich hieraus eine Reihe für die Temperaturen bilden, deren erstes Glied durch a, das erste Glied der Reihe der ersten Differenz durch b, das zweite Glied der zweiten Differenz durch c und die constante Differenz durch d bezeichnet werden möge. Auf diese Weise erhält man folgende 9 Bedingungsgleichungen:

$$
\begin{array}{ll}
1) & 37,9 = 2,3 + 36b + 3c + d \\
2) & 51,2 = 2,3 + 46b + 6c + 4d \\
3) & 65,5 = 2,3 + 56b + 10c + 10d \\
4) & 81,7 = 2,3 + 66b + 15c + 20d \\
5) & 100,0 = 2,3 + 76b + 21c + 35d \\
6) & 121,1 = 2,3 + 86b + 28c + 56d \\
7) & 145,0 = 2,3 + 96b + 36c + 84d \\
8) & 171,8 = 2,3 + 106b + 45c + 120d \\
9) & 203,1 = 2,3 + 116b + 55c + 165d
\end{array}
$$

Hieraus fand Egen durch eine einfache Methode $b = 11,51$; $c = 0,15$; $d = 0,40$. Eine hiernach gebildete Reihe gab mit

der gegebenen so genau übereinstimmende Werthe[1], dafs dieses zur weiteren Entwickelung der Formel aufforderte. Heifst n die Ordnungszahl eines Gliedes in der Reihe der Temperaturen, so ist:

$$t = a + \frac{n-1}{1} b + \frac{(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2} c + \frac{(n-1)(n-2)(n-3)}{1 \cdot 2 \cdot 3} d$$

oder:

$$t = (a - b + c - d) + (b - \tfrac{3}{2} c + \tfrac{11}{6} d) n + (\tfrac{1}{2} c - d) n^2 + \tfrac{1}{6} d n^3.$$

Setzt man in der Reihe der Expansivkräfte das zu t gehörige Glied = e, das erste Glied $\frac{1}{128} = a'$ und den Progressions-Exponenten = e', so ist (für diese geometrische Reihe)

$$e = a' \cdot e'^{\,n-1}$$

oder:

$$n = \frac{\text{Log. } e - \text{Log. } a'}{\text{Log. } e'} + 1 = \frac{\text{Log. } e}{\text{Log. } e'} - \frac{\text{Log. } a'}{\text{Log. } e'} + 1.$$

Um abzukürzen, sey $\frac{\text{Log. } a'}{\text{Log. } e} - 1 = r$; $\frac{\text{Log. } e}{\text{Log. } e'} = x$;

$a - b + c - d = \delta$; $b - \frac{3}{2} c + \frac{11}{6} d = \gamma$; $\frac{1}{2} c - d = \beta$; $\frac{1}{6} d = \alpha$, wonach $n = x - r$. Dieses substituirt giebt:

$$t = \delta - (\alpha r^2 - \beta r + \gamma) r + [(3 \alpha r - 2 \beta) r + \gamma] x - (3 \alpha r - \beta) x^2 + \alpha x^3,$$

oder auch:

$$t = \delta - (\alpha r^2 - \beta r + \gamma) r + \frac{(3 \alpha r - 2 \beta) r + \gamma}{\text{Log. } e'} \text{Log. } e + \frac{\beta - 3 \alpha r}{\text{Log.}^2 e'} \text{Log.}^2 e + \frac{\alpha}{\text{Log.}^3 e'} \text{Log.}^3 e.$$

Es ist aber

$a = 2{,}3$; $b = 11{,}51$; $c = 0{,}15$; $d = 0{,}4$; $e' = 2$; $a' = \frac{1}{128}$, folglich auch

$$\alpha = 0{,}0666667;\ \beta = -0{,}325;\ \gamma = 12{,}0183333;\ \delta = -9{,}46;\ r = -8.$$

Werden diese Werthe substituirt, so erhält man

$$t = 100{,}02 + 65{,}1707 \text{ Log. } e + 14{,}07 \text{ Log.}^2 e + 2{,}444 \text{ Log.}^3 e \quad \text{(I)}$$

und es ist:

$$\text{Log. } 65{,}1707 = 1{,}81405;\ \text{Log. } 14{,}07 = 1{,}14830;\ \text{Log. } 2{,}444 = 0{,}38808.$$

Uebergehn wir die Abänderung der Coefficienten, wodurch Egen eine zweite, die Fehler noch mehr vermindernde, Formel erhielt, und die Vergleichung der berechneten mit den beobach-

1 Die Summe der Fehler beträgt — 0,3.

teten Werthen, woraus dieses hervorgeht, so verdient bemerkt zu werden, dafs er zur schärferen Bestimmung der Coefficienten 29 Beobachtungen auswählte, die er für die genauesten hielt, sie nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnete und dadurch folgende bis zur dritten Potenz gehende Gleichung erhielt:

$$t = 100 + 64{,}86106\,\mathrm{Log.}\,e + 14{,}14528\,\mathrm{Log.}^2\,e + 2{,}50778\,\mathrm{Log.}^3\,e \ldots\ldots (\mathrm{III}).$$

Als aber auch diese noch Abweichungen zeigte, die ihm zu grofs schienen, hielt er für besser, die Formel bis zur vierten Potenz auszudehnen, wonach sie allgemein ausgedrückt heifst:

$$t = 100 + s\,\mathrm{Log.}\,e + r\,\mathrm{Log.}^2\,e + q\,\mathrm{Log.}^3\,e + p\,\mathrm{Log.}^4\,e.$$

Zur Auffindung der Coefficienten dienten die auch früher gewählten 29 Beobachtungen, und diese gaben folgende Gleichungen:

$$1)\ 3145{,}167086\,p - 1291{,}8504756\,q + 611{,}462044\,r - 232{,}8610878\,s + 9686{,}6026822 = 0$$

$$2)\ 1291{,}8504756\,p - 611{,}462044\,q + 232{,}8610878\,r - 139{,}6054183\,s + 7294{,}4778232 = 0$$

$$3)\ 611{,}462044\,p - 232{,}8610878\,q + 139{,}6054183\,r - 38{,}9095565\,s + 1132{,}91996 = 0$$

$$4)\ 232{,}8610878\,p - 139{,}605183\,q + 38{,}9095565\,r - 44{,}6811735\,s + 2697{,}780132 = 0.$$

Aus diesen Gleichungen ergeben sich folgende Coefficienten:

| | |
|---|---|
| $s = 64{,}29512$ | $\mathrm{Log.}\,s = 1{,}8081780$ |
| $r = 13{,}89479$ | $\mathrm{Log.}\,r = 1{,}1428520$ |
| $q = 2{,}909769$ | $\mathrm{Log.}\,q = 0{,}4638586$ |
| $p = 0{,}1742634$ | $\mathrm{Log.}\,p = 0{,}2412062 - 1$ |

wonach also die Gleichung ist:

$$t = 100 + 64{,}29512\,\mathrm{Log.}\,e + 13{,}89479\,\mathrm{Log.}^2\,e + 2{,}909769\,\mathrm{Log.}^3\,e + 0{,}1742634\,\mathrm{Log.}^4\,e \ldots\ldots (\mathrm{IV}).$$

Da die Rechnung nach der Formel (III) kürzer ist, als nach der Formel (IV), so theilen wir die Tabelle ganz mit, worin Egen die Abweichungen der nach beiden berechneten Werthe von den beobachteten zusammengestellt hat. Man übersieht bald, dafs die Beobachtungen über 100° aus den französischen (§. 534) für Atmosphären von 0,76 Meter Quecksilberdruck, die von 100° C. bis 0° aus den englischen von Dalton und Ure, die für 0° von Gay-Lussac und die für noch niedrigere Temperaturen aus den oben (§. 538) mitgetheilten entnommen sind. Hiernach kann jede einzelne leicht an den angegebenen Orten aufgefunden werden, und ebenso leicht ist es, die nach den For-

rmeln berechneten Werthe aus den angegebenen Unterschieden zu finden. Diejenigen der beobachteten Werthe, welche zur Bestimmung der Coefficienten dienten, sind mit einem Sternchen (*) bezeichnet.

| Elasticitäten | | beobacht. Temper. | Abweichungen nach Formel III. | Formel IV. |
|---|---|---|---|---|
| 23,93 | Atmosph. | 223°,9 C. | —0°,99 C. | —0°,56 C. |
| 22,66* | — | 220,4 | — 0,27 | + 0,09 |
| 21,60* | — | 218,3 | — 0,60 | — 0,29 |
| 21,31 | — | 217,3 | — 0,28 | + 0,01 |
| 20,44 | — | 215,1 | — 0,16 | + 0,08 |
| 18,55* | — | 210,5 | — 0,35 | — 0,21 |
| 18,16* | — | 209,1 | 0,00 | + 0,13 |
| 17,13* | — | 206,1 | + 0,15 | + 0,24 |
| 14,53* | — | 198,5 | — 0,08 | — 0,11 |
| 13,19* | — | 193,7 | + 0,23 | + 0,13 |
| 11,66 | — | 188,4 | — 0,34 | — 0,25 |
| 10,60* | — | 183,7 | + 0,37 | + 0,16 |
| 9,89* | — | 180,7 | + 0,31 | + 0,09 |
| 8,11 | — | 172,1 | + 0,43 | + 0,13 |
| 7,61 | — | 169,5 | + 0,36 | + 0,06 |
| 7,39* | — | 168,4 | + 0,24 | — 0,06 |
| 6,51 | — | 163,2 | 0,00 | — 0,05 |
| 5,12* | — | 153,7 | + 0,30 | — 0,02 |
| 4,86* | — | 151,9 | + 0,10 | — 0,23 |
| 2,14* | — | 123,0 | + 0,06 | — 0,13 |
| 1,00* | — | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 28,88* | engl. Zoll | 98,89 | + 0,04 | + 0,05 |
| 23,60* | — | 93,33 | + 0,04 | + 0,12 |
| 19,00* | — | 87,78 | — 0,38 | — 0,01 |
| 12,04* | — | 76,67 | — 0,32 | — 0,15 |
| 5,76* | — | 60,00 | — 0,35 | + 0,03 |
| 3,30* | — | 48,89 | — 0,27 | — 0,01 |
| 1,86* | — | 37,78 | + 0,10 | + 0,09 |
| 1,36* | — | 32,22 | + 0,08 | — 0,01 |
| 1,17* | — | 29,44 | + 0,24 | + 0,10 |
| 0,72* | — | 21,11 | + 0,28 | + 0,03 |
| 0,52* | — | 15,56 | + 0,43 | + 0,09 |
| 0,365 | — | 10,00 | + 0,03 | — 0,25 |
| 0,266 | — | 4,44 | + 0,34 | + 0,07 |
| 2,24* | Par. Lin. | 0,00 | 0,00 | — 0,19 |
| 1,80* | — | — 4,44 | — 0,42 | + 0,61 |
| 1,51* | — | — 6,62 | — 0,14 | — 0,12 |
| 1,08* | — | —12,50 | — 0,17 | + 0,18 |
| 0,60 | — | —19,59 | — 3,67 | — 2,64 |

Wenn man die Unterschiede, welche zu 223°,9, zu — 4°,4 und zu — 19°,59 gehören, wegläſst, da die erste Messung wohl nicht genau genug seyn dürfte, bei so tiefen Temperaturen aber, als die, welcher die letzte zugehört, die verschwindend geringen Elasticitäten scharf zu messen wohl überhaupt nicht möglich seyn dürfte, und für die mittlere endlich die beiden Bestimmungen von Dalton und Ure unter sich stärker abweichen, als die Formel von dem Mittel ihrer Messungen, so sind die übrigen Abweichungen nicht bedeutend und zeugen für die Paſslichkeit der Formel, welche zugleich den Vorzug hat, daſs sie für höhere Temperaturen nicht zu widersinnigen Resultaten führt.

Mit Recht bemerkt Egen, daſs die Anwendung der Formel zur Auffindung der Elasticitäten für gegebene Temperaturen zu einer biquadratischen Gleichung führe, glaubt aber, daſs die hiernach sehr mühsame Rechnung durch eine Hülfstabelle bequemer gemacht werden könne, und zwar um so leichter, wenn die Aenderung der Elasticität für kleine Temperatur-Unterschiede bekannt sey. Um hierzu zu gelangen, differentiirt er die Formel, und findet hiernach die Aenderung der Temperatur für

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Par. Lin. | Untersch. | bei | 336,9 | Lin. Dampfdruck | = | 0°,083 C. |
| 1 | — | — | — | 330,9 | — | = | 0,084 |
| 1 | — | — | — | 324,9 | — | = | 0,086 |

wonach zugleich die Bestimmung des *Siedepunctes der Thermometer*[1] corrigirt werden kann.

543) Nach einer so reichhaltigen Bearbeitung dieses Gegenstandes kann nur noch eine spärliche Nachlese übrig bleiben. Dahin gehört eine noch nicht veröffentlichte oder mir noch nicht zu Gesicht gekommene Arbeit von Biot, worüber erst eine vorläufige Anzeige bekannt geworden ist[2]. Hieraus erfahren wir zugleich, daſs Gay-Lussac sehr genaue Messungen der Elasticitäten des Wasserdampfes zwischen — 20° bis + 100° C. angestellt und ihm die Resultate vorläufig mitgetheilt hat, aus denen und den erwähnten der französischen Akademiker es ihm gelang, eine Formel zu construiren, welche

1 Vergl. *Thermometer*. Bd. IX. S. 891.

2 L'Institut. 1833. N. XXVI. p. 222. Poggendorff's Ann. XXXI. 42. Conn. de Temps pour 1839. Compt. rend. T. VI. p. 389. Poggendorff's Ann. XLIV. 627.

die Elasticitäten des Dampfes zwischen — 20° bis + 220° mit allen diesen Messungen genau übereinstimmend ausdrücken soll. Ueber die von ihm befolgte, blofs im Allgemeinen angegebene Methode läfst sich hier nicht wohl etwas Bestimmtes mittheilen, jedoch bemerkt er, dafs die Elasticität des Dampfes nach jeder Formel nicht bis ins Unendliche, sondern nur bis 1200 Atmosphären wachsen könne[1]. Auf eine später bekannt gewordene Bemerkung von Pambour, dafs man das Verhältnifs der Elasticitäten des Wasserdampfes zu den Temperaturgraden noch nicht genau kenne, erwiderte Biot, er habe unlängst der Akademie eine dieser Aufgabe genügende Formel für die Temperaturen von — 20° C. bis + 220° C. mitgetheilt, und wir erfahren hier zugleich, dafs die Formel heifst:

$$\text{Log. } f_t = a - a_1\, \alpha_1^{\,20+t} - a_2\, \alpha_2^{\,20+t}.$$

Hierin bezeichnet $f_t$ das Maximum der Spannkraft des Dampfes bei der Temperatur t in Centesimalgraden des corrigirten Thermometers in Millimetern der Quecksilbersäule des Barometers bei 0° Temperatur. Ferner ist

$$a = 5{,}96131330259$$
$$\text{Log. } a_1 = 0{,}82340688193 - 1$$
$$\text{Log. } a_2 = 0{,}74110951837$$
$$\text{Log. } \alpha_1 = -\ 0{,}01309734295$$
$$\text{Log. } \alpha_2 = -\ 0{,}00212510583$$

Die Bestimmung der Coefficienten soll nicht mehr als 4 beobachtete Werthe, 2 unter und 2 über 100° C. bedurft haben; indefs bemerkt Biot zugleich in einer Anmerkung, dafs er zuerst die Constanten bestimmt, dann durch Vergleichung mit den Beobachtungen dieselben stets mehr annähernd verbessert habe.

Wir müssen uns vorerst mit diesen kurzen Andeutungen begnügen, und erwarten, dafs sowohl Gay-Lussac seine neuen Beobachtungen, als auch Biot das Detail seiner Berechnungen mittheilt. Beiläufig möge hier noch bemerkt werden, dafs John Scott Russel[2] die verschiedenen, ihm bekannten Formeln über die Elasticitäten der Dämpfe zusammengestellt hat und

1 Nach der Mayer'schen Formel läfst sich die Berechnung, so weit man will, fortsetzen; ob aber die gefundenen Werthe dann auch richtig sind, das läfst sich nicht entscheiden, so lange die Theorie noch nicht absolut sicher begründet ist.

2 Edinb. Philos. Trans. 1838. L'Institut 1839. 7me Ann. N. 299.

hierdurch zu der Ueberzeugung gelangt ist, dafs die Erfahrungen mit DALTON's Hypothese sehr wohl übereinstimmen.

544) Ehe die französischen Versuche bekannt waren, gleichzeitig mit der Anstellung derselben, unternahm SCHITKO[1], das Verhalten des Wasserdampfes im Allgemeinen unter bestimmte Gesetze zu bringen. Hierbei legt er diejenigen Sätze zum Grunde, die er über die Ausdehnung der Körper von jeglicher Aggregatform aufgestellt hat (§. 471), und untersucht dann zuerst die Dichtigkeit des Wasserdampfes, dann die Elasticität desselben, und zwar sowohl die specifische, als auch die absolute. Unter der ersteren versteht er diejenige, welche der Dampf von gegebener Dichtigkeit zeigt, wenn er durch Wärme ausgedehnt wird; allein es liegt in der Natur der Sache, dafs sich die Dichtigkeit mit dem Wechsel der Temperatur ändert, hiernach also seine Elasticität stets eine verschiedene seyn mufs, je nach den Wärmegraden, wovon man ausgeht. Nimmt man die Dichtigkeit desselben beim Siedepuncte als Einheit, so ist (§. 471) für jeden andern Wärmegrad der Centesimalscale die *specifische Elasticität:*

$$e = (1+\mu)^{x-X} = \frac{(1+\mu)^x}{1{,}375}, \text{ und}$$

$$\text{Log. } e = x \text{ Log. } (1+\mu) - \text{Log. } 1{,}375.$$

Es soll aber nach den bekannten Bestimmungen der Ausdehnung der Luft durch Wärme Log. $(1+\mu) = 0{,}0017256$ seyn, und da Log. $1{,}375 = 0{,}1383027$ ist, so hat man

$$\text{Log. } e = 0{,}0017256\,x - 0{,}1383027.$$

Es scheint mir nicht geeignet, die hiernach von 100° bis 300° C. berechneten specifischen Elasticitäten des Wasserdampfes hier aufzunehmen. Im Allgemeinen ersieht man aus der Formel, dafs für eine arithmetische Reihe der Temperaturen die specifischen Elasticitäten der Dämpfe in einer geometrischen wachsen.

Die absolute Elasticität des Wasserdampfes betrachtet SCHITKO als eine Function seiner Dichtigkeit und specifischen Elasticität, und wenn daher beide für gegebene Temperaturen über dem Siedepuncte bekannt sind, so ergeben sich hieraus die Elasticitäten von selbst. Heifst nämlich die Dichtigkeit d und die

---

1 Wiener Zeitschrift. Bd. VI. S. 257.

specifische Elasticität e, so ist die absolute Elasticität E das Product dieser beiden Gröfsen, also

$$E = de \text{ und Log. } E = \text{Log. } d + \text{Log. } e.$$

Werden hierin die Werthe von d (§. 552) und von e substituirt, so hat man

$$\text{Log. } E = 4 \text{Log. } x + \text{Log. } (1 + \gamma x) + 0{,}0017256 x - 7{,}8404207.$$

Hierbei ist die Elasticität des Wasserdampfes bei der Siedehitze als Einheit angenommen. Will man diese Gröfse auf eine andere, z. B. auf die Höhe einer Quecksilbersäule oder den Druck gegen eine gegebene Fläche reduciren, so versteht sich von selbst, dafs, wenn diese Gröfse = a gesetzt wird, die Elasticität hiernach

$$E' = aE, \text{ also Log. } E' = \text{Log. } a + \text{Log. } E$$

seyn mufs. Schitko theilt in einer Tabelle von 100° bis 200° die hiernach berechneten, mit den damals bekannten Versuchen verglichenen, Werthe mit, und da es interessant ist, die nahe Uebereinstimmung zu überblicken, so nehme ich dieselbe hier gleichfalls auf.

| Temp. | Schitko | Ure | Arzberger | Christian | Schmidt | Betancourt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 100° C. | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 105 | 1,1997 | 1,2120 | 1,1872 | 1,1671 | 1,2136 | 1,2356 |
| 110 | 1,4269 | 1,4372 | 1,4016 | 1,3661 | 1,4371 | 1,5074 |
| 115 | 1,6836 | 1,6882 | 1,6466 | 1,5990 | 1,7150 | 1,8033 |
| 120 | 1,9721 | 1,9845 | 1,9291 | 1,8695 | 2,0253 | 2,1606 |
| 125 | 2,2949 | 2,2953 | 2,2432 | 2,1903 | 2,3928 | 2,5550 |
| 130 | 2,6540 | 2,6737 | 2,5879 | 2,5642 | 2,7935 | 3,0000 |
| 135 | 3,0522 | 3,1206 | 2,9822 | 3,0009 | 3,2877 | 3,3291 |
| 140 | 3,4918 | 3,6235 | 3,4197 | 3,5130 | 3,8993 | |
| 145 | 3,9754 | | 3,9089 | 4,1120 | | |
| 150 | 4,5020 | | 4,4701 | 4,8125 | | |
| 155 | 5,0849 | | 5,0423 | 5,4531 | | |
| 160 | 5,7163 | | 5,6952 | 6,2753 | | |
| 165 | 6,4023 | | 6,4141 | 6,6937 | | |
| 170 | 7,1459 | | 7,1997 | 7,6927 | | |
| 175 | 7,9499 | | 8,0316 | | | |
| 180 | 8,7677 | | 8,9892 | | | |
| 185 | 9,7507 | | 10,0000 | | | |
| 190 | 10,7535 | | 11,0910 | | | |
| 195 | 11,8287 | | 12,2724 | | | |
| 200 | 12,9794 | | 13,5441 | | | |

Für wenige Atmosphären ist die Uebereinstimmung mit den Resultaten der Versuche hinlänglich genau, mit steigender Temperatur aber wachsen die Abweichungen so sehr, dafs die Formel danach ihre Brauchbarkeit für die praktische Anwendung verlieren mufs, denn nach ihr eilen die Temperaturen noch mehr voraus, als nach der von Arzberger, die aus dieser Ursache von den Mitgliedern der Pariser Akademie verworfen wurde. Eine Vergleichung macht dieses anschaulich. Nach den Pariser Beobachtungen gehören zu 200° C. 14,91 Atmosphären, nach der Formel aber nur 12,9794, so dafs der Unterschied fast 2 Amosphären beträgt.

545) Für die Messung der Elasticität des Dampfes bei niederen Temperaturen ist in den neuesten Zeiten auf experimentalem Wege gar nichts geschehn[1], und es ist daher um so nöthiger, hier noch einen Apparat namhaft zu machen, welchen Prechtl[2] für diesen Zweck höchst sinnreich construirt hat. Es
Fig. 80. wird genügen, denselben nur nach seinen wesentlichsten Elementen anzudeuten, weil das Einzelne dann verschiedener Modificationen fähig ist. Der Hauptheil besteht aus einer etwa zwei Linien weiten Glasröhre, welche in ihrer Mitte so umgebogen ist, dafs ihre beiden Schenkel in einem Abstande von 1 bis 2 Zoll von einander parallel in die Höhe gehen. Der eine Schenkel derselben wird wie eine Barometerröhre zugeblasen, der andere in eine feine Spitze ausgezogen; dann wird so viel Quecksilber hineingebracht, als erforderlich ist, den einen Schenkel und die Krümmung auszufüllen, und dieses wird so ausgekocht, wie es bei Barometern üblich ist. Hierauf bringt man in den andern Schenkel eine hinlängliche Quantität Wasser, die nicht zu gering seyn darf, läfst dieses so lange sieden, bis kein tropfbarflüssiges Wasser mehr vorhanden ist, die Dämpfe aber sämmtlich aus der Spitze entwichen sind, und bläst diese an der Lampe zu, damit auch dieser Schenkel völlig luftleer werde. Diese so zubereitete und vertical aufgestellte Röhre mufs sonach zwei Quecksilbersäulen zeigen, deren eine um so viel kürzer ist, als die der jederzeitigen Wärme proportionale Elasticität des Wasserdampfes beträgt. Immerhin wird es am besten seyn,

---

1 Dieses gilt nur, insofern die §. 543 erwähnten Messungen von Gay-Lussac noch nicht bekannt geworden sind.

2 Wiener Zeitschrift. Bd. I. S. 383.

dafs so wenig Wasser als möglich in dem einen Schenkel bleibe, denn in diesem Falle zeigt sich bei verminderter Temperatur blofs ein geringer, an den inneren Wandungen desselben haftender Niederschlag; ist aber mehr darin zurückgeblieben, so bildet sich ein kleiner Wassercylinder auf der Oberfläche, dessen Druck bei den künftigen Messungen corrigirt werden mufs. Obgleich dieses mühsam ist, so scheint mir doch hierin nur eine geringe Fehlerquelle zu liegen, eine weit gröfsere dagegen ist in dem Einflusse zu suchen, welchen die Feuchtigkeit im Innern des einen Schenkels auf die Capillarität ausübt. Auf welche Weise dieser Fehler zu finden und zu corrigiren sey, ist schwer anzugeben, da hierüber keine genügenden, obendrein die eigenthümliche, sehr bedingend einwirkende Beschaffenheit des gewählten Glases einschliefsenden Erfahrungen vorhanden sind. In Ermangelung eines besseren Vorschlages möchte ich rathen, die gekrümmte Röhre, so lange beide Schenkel noch offen sind, mit etwas Quecksilber zu füllen, den einen Schenkel inwendig zu befeuchten und den Einflufs, welchen dieses auf die Capillarität hat, aus längere Zeit fortgesetzten Messungen zu ermitteln. Sollte sich die Capillarität in dem einen Schenkel nach dem Auskochen ändern, so liefse sich dieser Unterschied aus der vor und nach dem Auskochen genau gemessenen Krümmung der Quecksilberoberfläche vielleicht annähernd berechnen[1], wobei ein etwas gröfserer Aufwand von Zeit und Mühe nicht in Betrachtung kommt, weil die einmal gefundene Gröfse, als constanter Fehler, bei allen künftigen Beobachtungen blofs eine einfache Addition oder Subtraction erfordern würde. Nach Prechtl sollen die Schenkel der Röhre nur etwa 12 Zoll Länge haben, und dieses genügt, um die Elasticität des Wasserdampfes in mittleren Temperaturen zu messen; es liegt indefs nicht aufser dem Bereiche der Möglichkeit, ja es ist sogar nicht einmal sehr grofsen Schwierigkeiten unterworfen, diese Messungen durch künstliche Erwärmungsmittel bis zum Siedepuncte des Wassers auszudehnen, wobei der Apparat noch den grofsen Vortheil gewährt, dafs sich mit demselben die Elasticität des Wasserdampfes bis zu den tiefsten Graden der natürlichen Kälte messen läfst, wenn die Menge des im einen Schenkel befindlichen Wassers nicht genügt, um einen am Rande festsitzenden

---

1 Vergl. Art. *Meteorologie.* Bd. VI. S. 1838.

Eisring zu bilden, oder dieser sich durch die Oscillationen der Quecksilbersäule losstofsen läfst. Mit diesem Instrumente liefse sich dann auch eine Vermuthung Biot's[1] prüfen, wofür die bisherigen Messungen nicht hinreichen (§. 543). Dieser Gelehrte glaubte nämlich gefunden zu haben, dafs gegen 0° C. Temperatur, in Folge der eintretenden Erstarrung des Wassers, eine kleine, aber doch merkliche, Aenderung der Elasticität des Dampfes eintrete, eine Erscheinung, die einer andern bekannten analog seyn würde, wonach etwas Salz, zum Wasser hinzugesetzt, die Spannkraft des gebildeten Dampfes vermindert (§. 526).

Dafs die angegebene zweischenklige Röhre so aufgerichtet stehn müsse, um den Unterschied der Höhen beider Quecksilbersäulen nach einer genau horizontalen Ebene scharf zu messen, versteht sich von selbst. Prechtl beschreibt eine hierzu geeignete Vorrichtung, wie die Röhre montirt seyn müsse, um den Unterschied der Höhen scharf zu messen, allein ich übergehe dieses, weil dem geübten Physiker, für welchen diese Apparate allein bestimmt seyn können, die verschiedenen Mittel, dieses zu erreichen, hinlänglich bekannt sind. Dahin gehört die hier genannte Mikrometerschraube, man könnte aber auch ein auf Glas geätztes Mikrometer anwenden und dieses mit Fernrohr, Loupe oder Mikroskop u. s. w. verbinden, endlich aber zur Correction einer möglichen Abweichung der zum Messen dienenden Linie die Röhre so montiren, dafs sie sich um ihre verticale Axe drehen liefse. Sehr wesentlich ist, für eine hinlänglich lange Zeit constante Temperatur und deren genaue Messung Sorge zu tragen. Das Erstere läfst sich nur durch eine anhaltend unveränderliche Wärme der Umgebung erreichen, für Letzteres schlägt Prechtl ein empfindliches Thermometer mit langem Cylinder vor, um die den Röhren in ihrer beträchtlichen Länge eigenthümliche Temperatur zu messen, und die ganzen Grade dieses Thermometers müfsten dann wieder zur Erreichung gröfserer Schärfe in mehrere Theile getheilt seyn[2]. Endlich bemerkt Prechtl mit Recht, dafs der Apparat sehr

---

1 Compt. rend. T. VI. p. 389. Poggendorff's Ann. XLIV. 627.

2 Der Apparat gewinnt an Brauchbarkeit dadurch, dafs er eine weit getriebene Schärfe der Messungen gar nicht erfordert, sobald nur der Einflufs der Capillarität corrigirt, für lothrechten Stand und ein richtiges Thermometer gesorgt worden ist. Alles andere läfst sich durch die so leicht mögliche Vervielfältigung der Beobachtungen erreichen.

geeignet sey, dem Dilettanten die mit der wachsenden Temperatur zunehmende Elasticität des Wasserdampfes anschaulich zu machen. Uebrigens liefsen sich auch die Spannungen der Dämpfe sonstiger Flüssigkeiten mit ähnlichen Apparaten messen, wie zu bemerken kaum nöthig ist.

546) Behalten wir die im Art. *Dampf* gewählte Ordnung bei, so würde erfordert werden, die neueren Untersuchungen über die Elasticität des *Alkoholdampfes* hier anzureihen; allein es sind mir keine Messungen derselben bekannt geworden, aufser dafs Gay-Lussac (§. 543) versichert, er habe solche gleichfalls angestellt, worauf dann Biot versuchte, seine Formel für die Elasticitäten des Wasserdampfes auch diesen anzupassen, was mit genügendem Erfolge geschehn seyn soll. Bis diese Resultate näher bekannt werden, müssen wir uns mit dem begnügen, was im genannten Artikel enthalten ist, wo jedoch (S. 359) aus Versehen die bei der Tabelle zum Grunde liegende Formel fehlt. Diese heifst:

$$\text{Log. } e = 5{,}029065 + \text{Log. } (213 + t) - \frac{1666{,}7}{213 + t},$$

worin e die Elasticität nach Pariser Zollen der Quecksilbersäule und t die Temperaturen in Graden der achtzigtheiligen Scale bezeichnen. Ebenso wenig sind die früheren Versuche über die Elasticität des *Schwefelätherdampfes*, des *Petroleumdampfes* und des *Terpentinspiritusdampfes* durch neuere vermehrt worden, wohl aber fand dieses beim Schwefelkohlenstoff statt.

547) Ueber die Elasticität des *Schwefelkohlenstoff-Dampfes* haben wir eine schätzbare Untersuchung durch Marx[1] erhalten. Allerdings sind die früheren bereits erwähnten Messungen von Despretz, Cluzel, Berzelius und Marcet, wozu noch die von mir übersehenen von Clement und Desormes[2] kommen, keineswegs von hinlänglicher Genauigkeit, um ein naturgemäfses Gesetz darauf zu gründen, und überhaupt glaube ich aus vielen Erfahrungen schliefsen zu müssen, dafs die Beobachtung des Sinkens der Quecksilbersäule, wenn man in die Torricelli'sche Leere einige Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit bringt,

1 Schweigger's Journ. LXII. 460.
2 G. XIII. 89.

nie genaue Resultate giebt[1]. Die Bestimmungen von CAIGNARD DE LA TOUR für sehr hohe Temperaturen, die er durch die Compression der Luft in krummgebogenen Glasröhren erhielt[2], können auf keinen hohen Grad von Genauigkeit Ansprüche machen.

Der zu diesen neuen Messungen dienende Apparat und die befolgte Methode lassen sich mit wenigen Worten deutlich
Fig. machen. MARX bediente sich eines gewöhnlichen Flaschenba-
81. rometers ab, dessen etwa 1,3 Lin. weite Röhre bis über 40 Zoll verlängert war. Nach dem bei dieser Länge beschwerlichen Auskochen wurde dieses Barometer, dessen aufwärts gebogene Flasche etwa 2 Z. hoch und 1,5 Z. weit war, auf einem mit der in Zoll und Linien getheilten Scale versehenen Brete befestigt und dieses an einem Stative lothrecht aufgehangen. Ein mit Sorgfalt angestellter Versuch, die Flasche durch einen Kork, in welchem die Thermometerröhre stecke, deren Kugel in den Schwefelkohlenstoff herabging, luftdicht zu verschliefsen, mifslang ungeachtet des Ueberbindens mit gefirnifster Leinwand und Thierblase; es blieb also kein Mittel übrig, als die Oeffnung der Flasche in eine feine Spitze auszuziehn diese beim Sieden des Schwefelkohlenstoffs zuzublasen, und das zum Messen der Temperatur dienende Thermometer neben dem Gefäfs des Barometers in das zum Erwärmen oder Erkälten dienende Wasser zu senken[3]. Zur Erwärmung der Flasche des Barometers diente ein Metallgefäfs mit Wasser, in welches die Flasche gesenkt war; dieses Gefäfs aber befand sich wieder in einem andern gröfseren, gleichfalls mit Wasser gefüllten, welches auf einem allmälig geheizten Windofen stand. Sollte die Temperatur unter die der Umgebung herabgebracht werden, so wurde

---

1 Vergl. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 341.

2 Vergl. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 280.

3 Man erhält auf diese Weise die Temperaturen ebenso genau, als wenn man das Thermometer in die Flüssigkeit selbst taucht, mufs dann aber die zum Erwärmen dienende Flüssigkeit abwechselnd erwärmen und erkälten, bis jede Veränderung seiner Temperatur, die aufserdem nicht grofs seyn darf, das Thermometer sowohl, als auch die Quecksilbersäule sinken oder steigen macht. Ist dieses einige Male erfolgt und werden dann beide stationär, so kann man von der Gleichheit der beide afficirenden Temperatur überzeugt seyn; allein das Verfahren kostet unglaublich viel Zeit.

das Wasser im gröſseren Gefäſse durch Schnee erkältet, für die Versuche unter dem Gefrierpuncte des Wassers aber diente eine kaltmachende Mischung in dem Gefäſse, worin sich die Flasche und das Thermometer befanden[1].

Die erforderlichen Correctionen waren zuerst die Capillarität, welche nach der Vergleichung mit einem guten Heberbarometer 0,82 Par. Linien betrug, dann die Gefäſscorrection, welche aus einer vorläufigen Messung der Tiefe, bis zu welcher das Quecksilber in der Flasche sank, wenn es in der Röhre 3 Zoll stieg, entnommen wurde. Eine dritte Correction für die Ausdehnung der Quecksilbersäule durch ungleiche Wärme und eine vierte für den nicht eingetauchten Theil der Thermometerröhre wurden weggelassen, die letztere von diesen gewiſs mit Recht, weil sie zu unbedeutend und überhaupt wohl kaum genau bestimmbar ist, die erstere aber war, wie Marx selbst bemerkte, sicher nicht ohne merkbaren Einfluſs[2]. Bei den beiden Versuchsreihen, deren eine die aufsteigende, die andere die absteigende heiſsen kann, wurde für je halbe Grade nach R. die Höhe der Quecksilbersäule abgelesen, und zwar von 7° R. an bis 47°,5, worauf dann das aus beiden entnommene Mittel als Grundlage der Berechnung diente, die nach der Mayer'schen Formel angestellt wurde. Diese heiſst bekanntlich

$$\text{Log. } e = A + \text{Log. } (213 + t) - \frac{B}{213 + t},$$

---

1 Leider sind diese, bis — 7° R. herabgehenden Versuche etwas übereilt worden, denn sie dauerten nur eine halbe Stunde, und es konnten daher das Thermometer und die Flasche nicht gleiche Temperaturen annehmen. Da genaue Messungen der Elasticitäten des Dampfes bei tiefen Thermometergraden von groſser Wichtigkeit sind, so bemerken wir, daſs die kaltmachende Mischung nicht in das innere Gefäſs gebracht werden muſste, vielmehr wäre es ein Leichtes gewesen, dieses mit Weingeist zu füllen, im äuſseren aber die kaltmachende Mischung zu bereiten, die von Zeit zu Zeit erneuert werden konnte.

2 Marx bemerkt, daſs diese Correction bei früheren Versuchen, auch den meinigen über die Elasticität der Dämpfe des Schwefeläthers (s. oben Bd. II. S. 367), weggelassen worden sey. Allerdings war man früher hierin nicht so genau, und ich selbst corrigirte bei den erwähnten Versuchen falsch, indem ich die mittlere Wärme zwischen der der Flasche des Barometers und der der äuſseren Umgebung nahm. Kennt man die Wärme der beiden Enden einer Säule, so läſst sich nach §. 294 die Temperatur der ganzen hinlänglich genau finden.

worin e die Elasticität in Par. Linien, t die Grade des Thermometers nach R. und A nebst B zu bestimmende Constanten bezeichnen. Letztere ergaben sich in genäherten Werthen aus zwei ziemlich weit von einander liegenden Messungen bei 15°,5 und 40°, indem diese in die Formel substituirt wurden. Hiernach ist

$$\text{Log. } 126{,}5 = A + \text{Log. } 228{,}5 - \frac{B}{228{,}5},$$

$$\text{Log. } 367{,}0 = A + \text{Log. } 253{,}0 - \frac{B}{253{,}0}$$

und also A = 4,06380; B = 987,25. Durch eine schärfere Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate wurden indeſs die Coefficienten näher bestimmt und gaben dann die Formel

$$\text{Log. } e = 4{,}0653887 + \text{Log. } (213 + t) - \frac{987{,}5164}{213 + t}.$$

Zur Auffindung der Formel wurden bloſs die Beobachtungen von 7° R. bis 47°,5 genommen, weil die tiefer liegenden aus angegebenen Gründen zu wenig genau zu seyn schienen. Die nachstehende Tabelle enthält die beobachteten und die berechneten Elasticitäten in Pariser Linien und die ihnen zugehörigen Temperaturen nach der achtzigtheiligen Scale. Die Unterschiede ergeben sich hiernach von selbst.

| Temperat. | Elasticitäten beobacht. | Elasticitäten berechn. | Temperat. | Elasticitäten beobacht. | Elasticitäten berechn. |
|---|---|---|---|---|---|
| — 7° R. | 32,00 P.L. | 38,60 P.L. | 10° R. | 96,62 P.L. | 96,67 P.L. |
| — 6 | 38,00 | 40,81 | 11 | 101,12 | 101,41 |
| — 5 | 39,00 | 43,23 | 12 | 106,75 | 106,80 |
| — 4 | 40,36 | 45,78 | 13 | 111,75 | 112,18 |
| — 3 | 44,00 | 48,43 | 14 | 117,79 | 117,80 |
| — 2 | 48,60 | 51,22 | 15 | 123,50 | 123,61 |
| — 1 | 55,50 | 54,15 | 16 | 129,37 | 129,72 |
| 0 | 58,50 | 58,41 | 17 | 135,75 | 136,01 |
| 1 | 60,25 | 60,42 | 18 | 142,25 | 142,56 |
| 2 | 63,30 | 63,79 | 19 | 148,81 | 149,40 |
| 3 | 65,10 | 65,76 | 20 | 156,25 | 156,43 |
| 4 | 71,00 | 70,95 | 21 | 163,52 | 163,75 |
| 5 | 75,00 | 74,81 | 22 | 171,29 | 171,17 |
| 6 | 78,00 | 78,80 | 23 | 179,12 | 176,36 |
| 7 | 83,24 | 82,99 | 24 | 187,62 | 187,70 |
| 8 | 87,50 | 87,37 | 25 | 196,37 | 196,24 |
| 9 | 91,62 | 91,92 | 26 | 205,12 | 205,08 |

| Temperat. | Elasticitäten beobacht. | berechn. | Temperat. | Elasticitäten beobacht. | berechn. |
|---|---|---|---|---|---|
| 27° R. | 213,75 P.L. | 213,77 P.L. | 38° R. | 339,12 P.L. | 339,20 P.L. |
| 28 | 224,37 | 223,79 | 39 | 354,87 | 353,17 |
| 29 | 233,35 | 233,62 | 40 | 367,62 | 367,56 |
| 30 | 243,13 | 243,94 | 41 | 382,37 | 382,24 |
| 31 | 253,88 | 254,47 | 42 | 396,86 | 397,41 |
| 32 | 264,37 | 265,41 | 43 | 414,62 | 413,20 |
| 33 | 275,87 | 276,75 | 44 | 431,20 | 429,10 |
| 34 | 287,37 | 288,45 | 45 | 447,00 | 446,05 |
| 35 | 299,87 | 300,38 | 46 | 462,12 | 463,38 |
| 36 | 312,12 | 313,06 | 47 | 482,00 | 481,09 |
| 37 | 325,62 | 326,02 | 47,5 | 494,00 | 490,18 |

548) Zur Ermittelung der Elasticität des *Quecksilberdampfes* unter dem Siedepuncte dieses Metalles hat Avogadro[1] eine Reihe von Versuchen angestellt, die zwar nicht in jeder Hinsicht vollkommen, aber doch insofern sehr schätzbar sind, als sie eine wesentliche Lücke in diesem Gebiete der Wissenschaft ausfüllen und ihre Resultate sich an andere bereits ausgemachte Thatsachen anknüpfen lassen. Hierbei geht Avogadro von dem bekannten Satze aus, dafs das Quecksilber bei 360° des Quecksilberthermometers oder bei 350° des Luftthermometers[2] siede und seine Dämpfe dann also eine Spannung gleich dem atmosphärischen Drucke oder einer Quecksilbersäule von 0,76 Meter haben. Ebenso ist wohl erwiesen, dafs die Dämpfe des Quecksilbers bis zu 100° C. noch keine merkliche Elasticität ausüben, und die Messungen konnten daher erst mit dieser Temperatur beginnen.

---

1 Mém. de l'Acad. de Turin. T. XXXVI. Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX. p. 369. Poggendorff's Ann. XXVII. 60.

2 Avogadro redet in Beziehung auf diesen Unterschied stets nur von einer wegen *ungleicher Ausdehnung des Glases* erforderlichen Correction; allein diese ist vorzugsweise wegen der ungleichen, mit den Temperaturen wachsenden Ausdehnung des Quecksilbers erforderlich, und müfste sogar additiv seyn, wenn sie sich auf die Ausdehnung des Glases allein bezöge, statt dafs sie subtractiv ist. Heifsen nämlich die gemessenen Grade des Quecksilberthermometers T, die corrigirten T', der Coefficient der kubischen Ausdehnung des Quecksilbers k, des Glases k', so wäre

$$T' = T\,(1 - k + k').$$

Die Ausdehnung des Glases war übrigens in den durch Dulong und Petit gefund. Resultaten schon mit begriffen. S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 599.

Auf die gewöhnliche Weise mit Dampf im luftleeren Raume zu experimentiren war wegen der erforderlichen hohen Temperatur nicht möglich, und es blieb daher nur das Mittel übrig, den erzeugten Quecksilberdampf mit Luft zu verbinden und nach Abzug des Druckes der letzteren den des ersteren aus der gemessenen Gröfse des gemeinschaftlichen Druckes zu ermitteln. Der gebrauchte Apparat bestand aus einem umgekehrten Heber, dessen einer längerer Schenkel offen, der andere kürzere aber mit einer Kugel versehn war. In demselben befand sich Quecksilber, welches die Kugel so weit füllte, dafs auch bei der Ausdehnung der Luft durch Wärme die Luft und die mit ihr vereinten Quecksilberdämpfe nicht völlig aus der Kugel getrieben wurden, und es blieb vielmehr stets eine hinlänglich grofse Oberfläche des Quecksilbers, um die über ihr befindliche Luft völlig mit Quecksilberdampf zu sättigen. Vor allem mufste daher zuvor ausgemittelt werden, um wie viel die durch Wärme ausgedehnte Luft vor der Aufnahme der Quecksilberdämpfe, also bis zum Siedepuncte des Wassers erhitzt, das Quecksilber in der längeren, mit einer feinen Scale versehenen Röhre in die Höhe trieb, um hieraus, mit Rücksicht auf den wachsenden Druck der verlängerten Quecksilbersäule und das Sinken des Quecksilberniveaus in der Kugel, die Wirkung der Luft für sich allein zu finden. Dafs die in der Kugel befindliche Luft durch salzsauren Kalk gehörig ausgetrocknet und das Quecksilber vor dem Einbringen durch gehöriges Erhitzen von aller Feuchtigkeit befreiet worden war, darf kaum bemerkt werden. Der Apparat wurde daher in siedendes Wasser getaucht, die Höhe, bis zu welcher das Quecksilber in der längeren Röhre getrieben worden war, gemessen, und somit nach den erforderlichen Correctionen die Wirkung der Luft für sich allein bestimmt. Die Erwärmung für die höheren Grade geschah durch Eintauchen des ganzen Apparates bis über die Kugel in Olivenöl, ein zugleich in dieses eingesenktes Thermometer gab die Temperatur an, und indem die Hitze dieses Oelbades bis 300° C. stieg, wurde die Höhe der Quecksilbersäule im offenen Schenkel der Röhre an einer messingnen Scale gemessen und aufgezeichnet; die so erhaltenen Bestimmungen bildeten also eine aufsteigende Reihe. Nachdem die angegebene Höhe erreicht war, erkaltete der Apparat; die den Thermometergraden zugehörenden Höhen der Quecksilbersäule wurden gleichfalls aufge-

zeichnet, dieses gab eine absteigende Reihe, und die Vereinigung beider zu einem Mittelwerthe sollte dazu dienen, die ungleiche Erwärmung des Thermometers und der Kugel aufzuheben [1]. Von der beobachteten Expansion mufste die der Luft allein abgezogen werden, dann war eine Correction für die Verlängerung der Quecksilbersäule durch Wärme und eine zweite für den durch die verlängerte Quecksilbersäule vermehrten Druck auf die in der Kugel enthaltenen expansiblen Flüssigkeiten erforderlich.

Uebergehn wir die Angabe der einzelnen, hierzu erforderlichen Berechnungen, so ergaben sich aus den gemessenen Gröfsen folgende Resultate. Bezeichnet L die Länge der durch die vereinte Wirkung der Luft und des Dampfes gehobenen Quecksilbersäule, l die Wirkung der Luft für sich allein, so ist L — l die der Elasticität der Quecksilberdämpfe allein zukommende Gröfse. Heifst dann P der gesammte Druck der elastischen Flüssigkeiten, p der des Quecksilberdampfes allein, so giebt folgende Proportion:

$$L : L - l = P : p$$

die Gleichung

$$p = \frac{(L - l) . P}{L} = P\left(1 - \frac{l}{L}\right).$$

Die Versuche gaben folgende Werthe für p in Millimetern, wenn t Centesimalgrade bezeichnet:

t = 230; 240; 250; 260; 270; 280; 290.
p = 58,01; 80,02; 105,88; 133,62; 165,22; 207,59; 252,51.

Bei 300° war die Elasticität 309,40; allein da dieses Resultat nicht durch zwei Beobachtungen, eine bei steigender und eine andere bei abnehmender Temperatur, gefunden worden ist, so wird es hier weggelassen. Bei Temperaturen unter 230° C. zeigte sich die Spannung des Quecksilberdampfes so gering, dafs keine sichere Bestimmung zu erhalten war.

549) Die nächste Aufgabe war, für diese Elasticitäten des Quecksilberdampfes, sowohl die hier angegebenen, als auch die

---

1 Wie im vorigen §. angegeben wurde, genügt dieses Verfahren zu dem beabsichtigten Zwecke nicht, sondern man mufs sich der langwierigen Mühe unterziehn, durch stets abnehmende Schwankungen beider Mefsapparate die völlige Coincidenz zu erhalten.

dem Siedepuncte desselben zugehörige, eine empirische Formel aufzufinden. Avogadro wählt hierzu die bekannte:

$$e=(1+at)^m,$$

worin e das Maximum der Spannkraft gegen die als Einheit angenommene der atmosphärischen Luft (= 0,76 Meter Quecksilberhöhe); t die Temperatur von der des siedenden Wassers an; a und m durch Versuche zu bestimmende Constanten bezeichnen. Werden letztere durch die beiden Extreme, für 230° und 290° bestimmt, und nimmt man ein Temperaturintervall von 100 Graden C. zur Einheit, so wird a = 0,4548 und m = 2,875. Die beobachteten und berechneten Werthe stimmen hiernach nahe genug überein, allein die Formel

$$e=(1+0{,}4548 \cdot t)^{2{,}875}$$

giebt e = 0 für $t=-\frac{1}{0{,}4548}$, also für etwa — 2,2... oder für etwa 220° unter dem Siedepuncte des Quecksilbers, also für 140° C. über dem Gefrierpuncte des Wassers, und doch zeigen Faraday's Versuche[1], dafs sich bei weit niedrigeren Temperaturen Quecksilberdampf bildet, welcher nothwendig einige, wenn auch nur eine geringe Elasticität haben mufs. Dieses Hindernifs wird beseitigt, wenn man Laplace's Formel mit der ihr durch Biot gegebenen Erweiterung[2] wählt. Bezeichnet A die Spannkraft der Flüssigkeit für die Siedehitze, so ist der allgemeine Ausdruck:

$$e=A \cdot \alpha^{t+\beta t^2+\gamma t^3+\cdots}$$

oder

$$\text{Log.}\,e=\text{Log.}\,A+(t+\beta t^2+\gamma t^3+\ldots)\,\text{Log.}\,\alpha$$

und einfacher

$$\text{Log.}\,e=\text{Log.}\,A+\alpha t+\beta t^2+\gamma t^3+\ldots,$$

die man auf so viele Glieder ausdehnen kann, als nöthig scheint. Avogadro nimmt als Einheit der Elasticität den atmosphärischen Druck von 0,76 Meter, das Intervall der Temperatur = 100° und, um den Zeichenwechsel der verschiedenen Potenzen von t zu vermeiden, t für Temperaturen unter 100° C. positiv. Da aber Log. 1 = 0 ist, so wird die Formel:

---

1 S. Art. *Verdunstung*. Bd. IX. S. 1722.

2 S. Art. *Dampf*. Bd. I. S. 341 u. 329.

$$\text{Log.}\, e = a\,t + b\,t^2 + c\,t^3,$$

weil 3 Glieder völlig genügen. Statt alle 7 gefundenen Werthe zur Bestimmung der Coefficienten zu benutzen, werden hierzu nur die beiden äufsersten Beobachtungen und die für 260° benutzt, durch deren Combination die Constanten folgende Werthe erhalten:

$$\text{Log.}\, e = -\,0{,}64637\,t + 0{,}075956\,t^2 - 0{,}18452\,t^3.$$

Die hiernach berechneten Werthe weichen nur um 1 bis 2 Millimeter von den beobachteten ab, was als Beobachtungsfehler gelten kann. Die Formel giebt keinen Werth der Elasticität $= 0$, auch kein Minimum derselben, denn die Gleichung für das Minimum:

$$0 = -\,0{,}64637 + 0{,}075956 \,.\, 2t - 0{,}18452 \,.\, 3t^2$$

giebt für t einen unmöglichen Werth. Für den Schmelzpunct des Eises erhält man

$$e = 0{,}00000000011208 \text{ Atmosph.} = 0{,}00000008518 \text{ Millim.},$$

welche Gröfse sich offenbar nicht messen läfst. Ebenso ergiebt sich die Spannkraft des Quecksilberdampfes bei der Siedehitze des Wassers:

$$e = 0{,}00003889 \text{ Atmosph.} = 0{,}02944 \text{ Millim.}$$

und diese geringe Gröfse zeigt daher, dafs die Elasticitäten der Quecksilberdämpfe bis zu dieser Temperatur gar keinen Einflufs äufsern, also namentlich auch das *Barometer* nicht afficiren können[1].

In der Formel beträgt das durch t bezeichnete Intervall der Temperatur 100 Centesimalgrade; wollte man sie aber für einzelne Grade umwandeln, so dürfte man nur die Coefficienten mit 100 und dessen Potenzen dividiren, und erhielte dann:

$$\text{Log.}\, e = -\,0{,}0064637 \,.\, t + 0{,}0000075956 \,.\, t^2 - 0{,}00000018452 \,.\, t^3,$$

die Grade der Temperatur gleichfalls vom Siedepuncte des Quecksilbers oder von 360° C. an positiv genommen. Uebrigens mufs noch bemerkt werden, dafs hierbei stets von Graden des Quecksilberthermometers die Rede ist. AVOGADRO zeigt, wie man die Formel auch für das corrigirte oder das Luftthermometer abändern könne, allein es ist leichter, die ge-

1 Vergl. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1852.

messenen Grade nach der oben[1] gegebenen Tabelle zu corrigiren. Die folgende Tabelle enthält die den Temperaturen zugehörenden Elasticitäten bis zum Siedepuncte des Quecksilbers, oder bis 360° des uncorrigirten Thermometers, wofür die Spannung 1 Atmosphäre oder 760 Millim. beträgt.

| | Elasticitäten | | | Elasticitäten | |
|---|---|---|---|---|---|
| Temperat. | Atmosph. | Millim. | Temperat. | Atmosph. | Millim. |
| 100° C. | 0,00004 | 0,03 | 230° C. | 0,07633 | 58,01 |
| 110 | 0,00009 | 0,07 | 240 | 0,10349 | 78,65 |
| 120 | 0,00022 | 0,16 | 250 | 0,13655 | 103,78 |
| 130 | 0,00047 | 0,35 | 260 | 0,17582 | 133,62 |
| 140 | 0,00096 | 0,73 | 270 | 0,22145 | 168,30 |
| 150 | 0,00188 | 1,43 | 280 | 0,27355 | 207,90 |
| 160 | 0,00343 | 2,61 | 290 | 0,33225 | 252,51 |
| 170 | 0,00603 | 4,58 | 300 | 0,39780 | 302,33 |
| 180 | 0,01015 | 7,71 | 310 | 0,47073 | 357,75 |
| 190 | 0,01638 | 12,45 | 320 | 0,55181 | 419,38 |
| 200 | 0,02539 | 19,30 | 330 | 0,64261 | 488,38 |
| 210 | 0,03790 | 28,80 | 340 | 0,74523 | 566,37 |
| 220 | 0,05466 | 41,54 | 350 | 0,86286 | 655,77 |

550) Die Elasticitäten einiger Dämpfe werden mitunter gelegentlich und meistens nur in genäherten Bestimmungen bei der Angabe ihrer Dichtigkeiten erwähnt, allein es scheint mir nicht geeignet, hier weiter auf diese Angaben einzugehn. Ebenso findet ein gewisses Verhältnifs zwischen den Dichtigkeiten und den Elasticitäten der Dämpfe statt, so dafs sich die letzteren aus den ersteren ableiten liefsen, wenn es der Mühe werth wäre, dieses Problem zum Gegenstande weiterer Untersuchungen zu machen. Manche Körper, namentlich Metalle, verdampfen allerdings in sehr grofser Hitze, allein es dürfte sobald nicht möglich seyn, weder die Elasticität, noch auch die Dichtigkeit dieser Dämpfe, ja sogar nur die Temperatur der beginnenden Verdampfung mit einiger Sicherheit zu bestimmen. Aufser dem, was schon früher hierüber bekannt war, ist neuerdings auch die bisher bezweifelte Verdampfbarkeit des *Titans* in der Hitze der Schmelzöfen durch Zincken factisch

1 S. Art. *Thermometer.* Bd. IX. S. 959.

erwiesen worden[1]. Uebrigens zeigen sich auch hierbei merkwürdige Gesetze. So fand FOURNET[2] durch eigens angestellte Versuche, dafs reines Blei in starker Weifsglühhitze bedeutend verdampft, Bleioxyd und Bleierz dagegen nicht; doch dürfte wohl kein Körper vorhanden seyn, welcher der Einwirkung einer sehr gesteigerten Hitze des Knallgasgebläses zu widerstehn vermöchte. FOURNET's Versuche über die Verdampfung der Alliagen bieten gleichfalls viel Interessantes dar, auch hat JEFERY ein Mittel aufgefunden, die Metalldämpfe bei den Hohöfen zu condensiren[3], was jedoch alles hier nur im Vorbeigehn berührt werden kann. Endlich ist auch wiederholt bemerkt worden, dafs sich keine scharfe Grenze zwischen den Dämpfen und Gasen ziehn läfst[4], und zwar aus dem Grunde, weil eine grofse Zahl der letzteren durch vermehrten Druck und verminderte Temperatur bereits *tropfbar-flüssig* gemacht wurde, woraus eine Aehnlichkeit derselben mit den Dämpfen unverkennbar hervorgeht. Die hierüber früher bekannten, bereits erwähnten[5] Versuche von FARADAY sind durch spätere von NIEMANN[6] nicht unbedeutend vermehrt worden, welcher für die nämlichen Gase sehr ähnliche Werthe erhielt, als FARADAY, und aufserdem noch einige andere bestimmte. Die von ihm gefundenen Resultate des Ueberganges ausder Gasform in die Form der tropfbaren Flüssigkeit unter den angegebenen Pressungen in Atmosphären und bei Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale enthält folgende Tabelle.

---

1 Poggendorff's Ann. XXVIII. 160.

2 L'Institut. 1834. N. 49. Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 412.

3 Dingler's polyt. Journ. Th. XVIII. S. 19.

4 Vergl. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 279 u. §. 569.

5 S. Art. *Gas.* Bd. IV. S. 1020.

6 Brandes Archiv. Th. XXXVI. S. 175. Fechner Repertorium. Th. I. S. 180.

| | Temper. | Druck |
|---|---|---|
| Ammoniak . . . . . | 12°,5 C. | 6,5 bis 7 |
| Chlorgas . . . . . . | 12,5 | 8,5 |
| | 0,0 | 6,5 |
| Euchlor . . . . . . | 15,0 | 8,75 |
| Chlorige Säure . . . | 12,5 | 60,0 |
| Salzsaures Gas . . . . | 12,5 | 40,0 |
| | 0,0 | 33,0 |
| Schwefligsaures Gas . . | 12,5 | 3 ungefähr |
| Schwefelwasserstoffsäure | 12,5 | 58,0 |
| | 0,0 | 54,0 |
| Kohlensäure . . . . | 0,0 | 40,0 |
| | 12,5 | 58 bis 60 |
| Cyan . . . . . . . | 12,5 | 4 |

551) Wenden wir uns zu den Untersuchungen über die Dichtigkeit der Dämpfe und zwar zunächst des Wasserdampfes[1], so ist hierüber allerdings noch Einiges nachzutragen. Die wichtigsten früheren Messungen, die von Gay-Lussac und meine eigenen, gaben für das Verhältniſs zwischen Dampf und Luft bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke jene 10:16, diese 10:15,2242, so nahe übereinstimmend, daſs man seitdem die erste Bestimmung, theils wegen der überwiegenden Autorität, theils wegen der groſsen Bequemlichkeit der Rechnung, allgemein angenommen hat. Bedeutend kann dieselbe von der Wahrheit nicht abweichen, denn sonst müſste sich dieses bei den zahlreichen Anwendungen, die man seitdem von dieser Gröſse gemacht hat, schon herausgestellt haben, und wollte man auch einen Zweifel darauf gründen, daſs ein Verhalten in der Natur schwerlich auf so einfache Zahlenbestimmungen zurückzuführen sey, so könnte man doch nicht wohl anders, als das Mittel aus den beiden Bestimmungen nehmen, was dann das wenig abweichende Verhältniſs 10:15,60 geben würde. Liegt nun zwar die Wahrscheinlichkeit der gröſseren Genauigkeit wegen der angewandten Methode auf der Seite meiner eigenen Versuche, so wird man sich doch von der Wahrheit nicht merklich entfernen, wenn man die bequemere

1 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 371.

Bestimmung von Gay-Lussac beim praktischen Gebrauche in Anwendung bringt. Aus meinen Versuchen geht gleichfalls hervor, dafs die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei der nämlichen Temperatur im luftleeren und im lufterfüllten Raume dieselbe ist, jedoch scheint sie im letzteren etwas gröfser zu seyn, wie denn auch zweierlei Dämpfe in demselben luftleeren und lufterfüllten Raume neben einander bestehn können und sich, wie es scheint, etwas zusammenziehn[1], analog der fast allgemeinen Erscheinung, dafs alle Verbindungen eine etwas gröfsere Dichtigkeit haben, als die der halben Summe beider. Diesen bestehenden Gesetzen wollen wir dasjenige anreihen, was seitdem in diesem Gebiete hinzugekommen ist.

Anderson[2] liefs eine grofse Menge Luft, die mit Wasserdampf gesättigt war, in einem langsamen Strome durch Schwefelsäure oder salzsauren Kalk strömen und suchte dann die Gewichtszunahme dieser austrocknenden Substanzen. Durch 4 bei verschiedenen Temperaturen angestellte Versuche fand er das Gewicht eines Kubikfufses Dampf bei 9°,45 C. = 4,085 engl. Grains; bei 15° C. = 5,679 Gr.; bei 25° C. = 9,828 Gr. und bei 28°,33 C. = 11,66 Grains. Im Mittel aus diesen vier Bestimmungen ist das Verhältnifs der Dichtigkeit des Dampfes zu der der Luft sehr nahe = 10 : 16.

Die Bestimmung der Dichtigkeit des Wasserdampfes kommt vorzugsweise bei hygrometrischen Untersuchungen in Betrachtung[3]. Ist nämlich die Dichtigkeit des Dampfes im Maximum oder unter der Bedingung bekannt, dafs in dem gegebenen Raume so viel Wasser in Dampfgestalt vorhanden ist, als die bestehende Temperatur gestattet, und zeigt das Hygrometer den Grad dieser Sättigung in Procenten von 0 bis 1, drücken wir diesen Bruch durch $\frac{1}{n}$ aus und heifst die Dichtigkeit des Dampfes bei dieser Temperatur im Zustande der Sättigung D, die durch das Hygrometer bestimmte D', so ist $D' = \frac{1}{n} D$, wobei $\frac{1}{n}$ von 0 bis $\frac{100}{100} = 1$ wachsen kann. Eine

---

1 Vergl. oben §. 524.

2 Edinburgh Encyclop. Art. *Hygrometry.* Daniell Meteorological Essays and Observations. Lond. 1823. T. I. p. 159.

3 Vergl. Art. *Meteorologie.* Bd. VI. S. 1986.

interessante, aber sehr weitläuftige Aufgabe würde es seyn, den Wassergehalt der atmosphärischen Luft auf irgend eine Weise genau zu messen und mit den Angaben der besseren Hygrometer, namentlich das Psychrometers, zu vergleichen, um hieraus den Grad der Genauigkeit ihrer Angaben zu ermitteln. Der hierfür von BRUNNER[1] angegebene Apparat würde sicher unter den Händen eines aufmerksamen und geübten Experimentators sehr genügende Resultate geben, weswegen es angemessen ist, ihn hier zu erwähnen, und zwar nur im Allgemeinen, damit ein jeder diejenigen Modificationen anzubringen vermöge, die durch statt findende Nebenbedingungen ihm angemessen scheinen. Derselbe besteht aus einem grofsen gläsernen, mit Wasser gefüllten Behälter A, aus welchem durch ein über oder im Boden desselben befindliches verschliefsbares Rohr die Flüssigkeit in ein zweites Gefäfs B abfliefsen kann. In dem Halse des ersten, oben verschlossenen Behälters befindet sich eine rechtwinklig umgebogene Röhre, deren kurzer, horizontaler Theil cf mit etwas Chlorcalcium gefüllt ist, um die aus dem Sperrwasser etwa aufsteigenden Wasserdämpfe zu absorbiren. An das äufsere horizontale Ende dieser Röhre wird mittelst eines Verbindungsstückes ef von Federharz eine mit etwas lockerem Asbest und Schwefelsäure gefüllte Röhre ed befestigt, so dafs diese Säure, als vorzüglichstes Mittel zur Absorption des Wasserdampfes[2], die in der durchströmenden Luft enthaltene Feuchtigkeit aufnimmt. Eine Wägung der Röhre vorher und nachher giebt die Menge der in der durchströmenden Luft enthaltenen Feuchtigkeit und bei dem bekannten Gewichte des gemessenen Luftvolumens, welches in den Behälter A gedrungen ist, die Dichtigkeit desselben. Die mit Asbest versehene Glasröhre wird am zweckmäfsigsten 11 Zoll lang und 3,5 bis 4 Lin. weit gewählt; von dem Asbeste wird so viel genommen, als hinreicht, sich überall an die Wandungen anzulegen, ohne der durchströmenden Luft zu grofse Hindernisse in den Weg zu legen; er wird trocken in die Röhre gebracht, mit etwa 50 bis 60 Tropfen Schwefelsäure, die man in das eine Ende der fast senkrecht gehaltenen Röhre giefst und hinab-

Fig. 82.

1 Poggendorff's Ann. XX. 274.

2 Wohl nicht mit Unrecht zieht BRUNNER diese Säure dem salzsauren Kalke vor.

fliefsen läfst, befeuchtet, und wenn er sich zu sehr zusammenballt, mit einem Messingdrahte wieder aufgelockert. In der Nähe der Enden ist die Röhre etwas bauchig aufgetrieben, damit die ablaufende Säure, wenn ihre Menge etwas zu grofs ist, sich daselbst ansammelt. Zugleich ist nicht zu übersehn, dafs die Röhre, vor und nach dem Versuche, mit guten Stöpseln (am besten aus einem aus Leinölfirnifs und Mennig oder Bleiweifs verfertigten Kitte) verschlossen, genau gewogen werden müsse. Mit diesem Apparate stellte Brunner auch einen Versuch an, um die Dichtigkeit des mit Luft gemengten Wasserdampfes im Zustande der Sättigung zu messen. Es gaben 12972,5 Kubikcentimeter Luft bei 26,4 Zoll Barometerstand und 9°,5 R. Temperatur eine Gewichtszunahme von 0,121 Gramm; nach Peclet's Tabelle[1], welcher die Bestimmung von Gay-Lussac zum Grunde liegt, giebt eine gleiche Menge Luft $12972{,}5 \times 0{,}00000946 = 0{,}122$ Gramm Wasserdampf, und hiernach ist also das durch Brunner gefundene Verhältnifs der Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft $= 10:16{,}132$.

552) Schmeddink[2] erinnert hiergegen, es werde bei diesem Verfahren vorausgesetzt, die ausgetrocknete Luft nehme über dem Wasser im Gasometer ihren anfänglichen Feuchtigkeitsgehalt wieder an, was gewifs nicht genau richtig ist; denn operirt man mit Luft von mittlerer, ohnehin unbestimmter Feuchtigkeit, so kann sie im Gasometer leicht einen gröfseren Dampfgehalt annehmen, werden die Versuche dagegen mit gesättigt feuchter Luft angestellt, so wird diese nach dem Austrocknen nicht so schnell wieder in den Zustand der Sättigung übergehn; im ersten Falle wird ihr Volumen vermehrt, im letzteren verringert werden, und in beiden Fällen ist keine genaue Correction möglich. Ein zweiter Einwurf betrifft die Unbestimmtheit der Temperatur; allein dieser ist wohl nicht als gültig zu betrachten, da die Versuche auf jeden Fall in einem geräumigen, während ihrer nicht langen Dauer keiner mefsbaren, insbesondere die grofse Menge Wasser afficirenden Aenderung der Temperatur ausgesetzten Locale angestellt werden müssen. Schmeddink liefs daher die Luft zuerst durch Fig. 83.

1 Dessen Traité de Physique. 2me éd. T. I. p. 494.

2 Dissertatio de densitate vaporum. Berol. 1832. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. XXVII. 40.

eine mit nasser Baumwolle gefüllte Glasröhre a, dann durch eine mit feuchter Watte gefüllte Flasche a' treten, worin sich ein Thermometer zum Messen der Temperatur befand; von hier gelangte sie in zwei mit Schwefelsäure versehene Röhren s, s, von hier durch ein enges, am Ende herabgebogenes Rohr abermals in eine weitere, mit feuchter Wolle gefüllte Glasröhre a'' in das Gasometer A, aus welchem das zum Messen dienende Wasser in eine Flasche abflofs, deren Kubikinhalt genau bestimmt war. Die Zwischenröhre mit Chlorcalcium zur Sicherung gegen den aus dem Wassergefäfse eindringenden Dampf fand Schmeddink überflüssig, weil die Länge und der geringe Durchmesser der Röhre, die zu der mit nasser Watte gefüllten führte, gegen dieses Eindringen vollkommen sicherte, insbesondere wenn die Strömung der Luft etwas rasch war. Aufserdem zog er vor, die Austrocknungsröhren statt mit Asbest mit Gyps zu füllen, weil dieser doppelt so viel Schwefelsäure in sich aufnimmt; auch fand er nöthig, aus Watte einen Streifen zu schneiden, diesen aufzulockern, wie einen Papierstreifen zusammengerollt in die Röhre zu bringen und im siedenden Wasser gehörig zu befeuchten, weil kaltes den Fasern nicht genugsam adhärirt. Anfangs nahm die eine Röhre mit Schwefelsäure alle Feuchtigkeit auf, später aber auch die zweite einen Theil, und wenn dieser gröfser wurde, als 0,01 Gramm, so bedurfte es einer neuen Röhre[1]. Der Inhalt der Flasche endlich betrug fast 18,5 Liter bei 16° R. und jeder Versuch dauerte 12 bis 59 Minuten. Im Mittel aus 47 Versuchen ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur = 0,63, welcher Werth, wenn wir den von Gay-Lussac gefundenen = 0,625 oder $\frac{10}{16}$ nehmen, von demselben unbedeutend abweicht und das Verhältnifs 10 : 15,873 giebt. Eine zweite Reihe von Versuchen, wobei die mit nasser Watte gefüllte Röhre in einem kupfernen Wassergefäfse erwärmt wurde, um die Dichtigkeit des Wasserdampfes auch bei höheren Wärmegraden zu ermitteln, gab zu wenig genaue Resultate, was sich aus der Schwierigkeit einer scharfen Temperaturbestimmung allzuleicht erklären läfst.

---

1 Dafs in einigen Fällen das Gewicht der zweiten Röhre geringer wurde, ist eine schwer oder gar nicht zu erklärende Erscheinung.

552) Nach den hier mitgetheilten Resultaten der neueren Versuche gewinnt die bereits früher aufgestellte Bestimmung, wonach die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke im Verhältnifs von 10 zu 16 stehe, einen überwiegenden Grad von Wahrscheinlichkeit. Sofern sich aber erwarten läfst, dafs diese Bestimmung durch neue Versuche nicht leicht eine wesentliche Abänderung erleiden werde, stelle ich hier die wichtigsten Puncte nochmals zusammen, um so mehr, als die Resultate meiner eigenen Versuche wegen zu ausführlicher Darstellung minder leicht zu übersehn sind.

1. Die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist bei gleichen Temperaturen sowohl im luftleeren, als auch im lufterfüllten Raume, mindestens bis zum atmosphärischen Drucke, stets gleich, vorausgesetzt, dafs vom Dampfe im Maximum seiner Dichtigkeit die Rede ist. Dieses geht direct aus den Messungen von Gay-Lussac und den meinigen hervor, aus den letzteren namentlich, indem alles Wasser, welches in dem von mir gebrauchten Ballon bei einer gewissen Temperatur in Dampf verwandelt wurde, diese seine Expansion bei unveränderter Wärme beibehielt, wenn ich trockne Luft in gröfserer oder geringerer Quantität hinzutreten liefs. Wenn es bei diesen Versuchen den Anschein gewährte, als ob im lufterfüllten Raume eine gröfsere Dichtigkeit statt fände, weil der Niederschlag eines Theiles des expandirten Wassers im lufterfüllten Raume erst bei etwas niedrigerer Temperatur erfolgte, als im luftleeren, so hat dieses zwar die Analogie anderer Erscheinungen für sich, allein die Versuche können hierbei leicht täuschen, insofern der Dampf im luftleeren Raume ungleich beweglicher ist, daher an den Glaswandungen leichter und schneller zum Vorschein kommt, als im lufterfüllten. Der Satz selbst geht indirect aus den Versuchen von Brunner und Schmeddink hervor, denn die von ihnen gefundenen Dichtigkeiten des gemischten Dampfes stimmen so genau mit den für ungemischten erhaltenen überein, dafs hierin ein sehr gewichtiges Argument enthalten ist.

2. Sobald dieser Satz einmal festgestellt worden ist, fallen die Hauptschwierigkeiten, die den genauen Bestimmungen der absoluten Dichtigkeit des Wasserdampfes im Wege stehn, von selbst weg, und die durch Brunner gewählte Methode, wie

sie durch Schmeddink verbessert worden ist, verspricht die genauesten Resultate. Bei allen Fundamentalversuchen kam es blofs auf eine genaue Messung der Temperatur und des Raumes an, welchen der gesättigte Wasserdampf einnahm, wie nicht minder auf eine scharfe Wägung der Wassermenge, welche denselben gab. Eben wegen dieser Einfachheit der Messungen stimmen auch die erhaltenen Resultate so genau mit einander überein, als sich bei der Verschiedenheit der befolgten Methoden nur erwarten läfst. Handelt es sich aber um eine endliche scharfe Bestimmung der eigentlichen Dichtigkeit des Wasserdampfes, so dürfte die durch Schmeddink gefundene wohl den Vorzug haben; sie ist aus einer grofsen Zahl von Messungen bei mittleren Temperaturen entnommen und liegt nahe in der Mitte zwischen der durch Gay-Lussac und der durch mich selbst erhaltenen, etwas näher an der ersteren. Es läfst sich aber leicht erklären, warum Gay-Lussac die Dichtigkeit etwas zu klein fand, denn abgerechnet, dafs ein geringer Theil Feuchtigkeit bei seinen Versuchen dem Quecksilber adhäriren konnte, bleibt es fraglich, ob der Dampf in der Röhre nach dem, was hierüber oben (§. 518) beigebracht worden ist, wirklich die Siedehitze erreichte, und ebenso konnte ich selbst leicht in den Messungen bei tieferen Temperaturen, namentlich bei denen unter dem Gefrierpuncte des Wassers, die Dichtigkeit zu grofs finden, weil der dann absolut sehr dünne Dampf sich minder leicht an den Wandungen niederschlägt und dem Auge wahrnehmbar wird; die von mir aus diesen Versuchen allein abgeleitete Folgerung, dafs die Dichtigkeit des Dampfes im Verhältnifs zur Luft mit den Temperaturen abnehme, mag wohl hierauf beruhn und ist vorläufig, bis zu näherer Bestätigung, aufzugeben. Sofern aber das aus allen Versuchen Schmeddink's bei mittleren Temperaturen erhaltene mittlere Resultat von den früheren so wenig abweicht, kann immerhin wegen der Bequemlichkeit der Berechnung das bisher angenommene Verhältnifs von 10 : 16 beibehalten werden.

3. Handelt es sich um eine allgemeine Formel zur Berechnung der Dichtigkeit des Wasserdampfes, so kommt hierbei die Elasticität desselben und der Ausdehnungscoefficient der Luft in Betrachtung. Nach den damals bekannten Bestimmungen dieser Gröfsen habe ich eine Tabelle berechnet, welche die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Wasser im Maximum

seiner Dichtigkeit und auch gegen Luft bei 0° Temperatur und unter einem Drucke von 336 Lin. Quecksilber enthält; sie genügt, um die gesuchten Gröfsen mit genäherter Genauigkeit zu finden. Schitko[1] hat gleichfalls eine Tabelle berechnet, welcher jener sehr genäherte Werthe giebt. Neuerdings hat Pambour[2] eine Formel zur Berechnung des Volumens des Wasserdampfes als Function der Temperatur und der Elasticität desselben angegeben, wonach für p = dem Drucke auf ein Quadratcentimeter in Kilogrammen und t = der Temperatur in Centesimalgraden das Volumen des Dampfes

$$m = 1287 \times \frac{1 + 0{,}00364\,t}{p}$$

seyn soll. In dieser findet sich, wie Poggendorff bemerkt, der durch Rudberg aufgefundene Ausdehnungscoefficient der trocknen Luft ohne weitere Bemerkung eingeführt.

553) Ueber die Dichtigkeiten der Dämpfe sonstiger Flüssigkeiten, denen wir auch andere flüchtige Körper zugesellen können, sind noch einige sehr wichtige Zusätze hinzuzufügen, wobei es angemessen ist, auf dasjenige zurückzublicken, was im Art. *Dampf* bereits mitgetheilt wurde. Ueber die Dichtigkeit des *Schwefelkohlenstoffdampfes* stellte Cluzel[3] sogleich damals, als er diese neu entdeckte Flüssigkeit untersuchte, einen Versuch an, und fand, dafs ein Ballon mit Luft bei 18° C. Wärme und 0,7638 Met. Barometerstand gewogen 6,75 Gramm wog, wenn er 5565,095 Kubikcentimeter Luft enthielt; war aber Schwefelkohlenstoffdampf damit vereint, so betrug das Gewicht 7,798 Gramm. Hieraus läfst sich indefs das Gewicht des Kohlenstoffdampfes nicht entnehmen, weil nach dem Eintritt desselben zwar der Ballon mit diesem ganz erfüllt war, aber von der früher darin befindlichen Luft, wenn diese entweichen konnte, fehlte so viel, als der Elasticität des Dampfes gegen die der Luft zukam. Marx[4] versuchte gleichfalls den Dampf des Schwefelkohlenstoffs zu wägen und bediente sich dazu einer dünnen Kugel mit einer Spitze, die er zuerst voll

1 Wiener Zeitschrift. Th. VI. S. 259.
2 Compt. rend. T. VI. p. 374. Poggendorff's Ann. XLIV. 628.
3 Ann. de Chim. T. LXXXIV. p. 72. G. XLIII. 421.
4 Schweigger's Journ. LXII. 488.

Luft, dann mit Schwefelkohlenstoffdampf gefüllt, wog, indem er diese Flüssigkeit darin zum Sieden brachte und die Spitze verstopfte, nachdem keine tropfbare Flüssigkeit mehr darin enthalten war, endlich aber die Spitze wieder öffnete, Luft eindringen liefs und abermals das Gewicht bestimmte. Heifst dann das Gewicht der Kugel A, der Luft L, des Dampfes D, so war das Gewicht zuerst $= A + L$, hernach $= A + D$ und zuletzt sollte es $= A + D + L$ seyn, allein er konnte auf diese Weise keine übereinstimmenden Resultate erlangen [1], wenn er die erste Gröfse von der letzteren abzog, wie sehr begreiflich daraus hervorgeht, dafs im dritten Falle so viel Luft weniger in der Kugel vorhanden war, als die Elasticität des bei der gegegebenen Temperatur darin vorhandenen Dampfes austrieb. Um daher die Dichtigkeit dieses Dampfes zu finden, legt er die Bestimmung von Gay-Lussac zum Grunde, wonach der Schwefelkohlenstoffdampf bei seiner Siedehitze eine Dichtigkeit von 2,645 gegen atmosphärische Luft haben soll. Ist dann das spec. Gewicht der Luft bei 0° und 28 Zoll Barometerhöhe [2] gegen Wasser im Maximum seiner Dichtigkeit $= 0{,}00128308 : 1$, so wird dieses bei 37°,5 R. als dem Siedepunct des Schwefelkohlenstoffs $= 0{,}00128308 \times 0{,}85423 : 1$, und hieraus folgt die Dichtigkeit des Schwefelkohlenstoffdampfes bei der Siedehitze gegen die des Wassers $= 0{,}0028987 : 1$. Nach der Mayer'schen Formel ist die Dichtigkeit eines Dampfes $\delta$ für eine gegebene Temperatur t in Graden der 80theiligen Scale, wenn seine Spannung e heifst:

$$\delta = A \frac{e}{213 + t},$$

worin A ein aus den Beobachtungen zu entnehmender Coefficient ist. Marx fand den Siedepunct bei 37°,5 R., wenn die Elasticität einem Drucke von 333,786 Par. Lin. gleich kam, und wenn diese Werthe zugleich mit der durch Gay-Lussac gefundenen Dichtigkeit in die Formel substituirt werden, so erhält man

$$0{,}0028987 = A \,.\, \frac{333{,}786}{250{,}5},$$

1 Vergl. das von Dumas angewandte Verfahren §. 555.

2 Gay-Lussac legt bei seinen Bestimmungen eine Barometerhöhe von 0,76 Meter, also 28 Z. 0,9 Lin. zum Grunde, was aber hierbei von keinem merklichen Einflufs ist.

woraus der Werth von A = 0,0021748 gefunden wird. Hiernach heifst also die Formel für $\delta$, die Dichtigkeit des Schwefelkohlenstoffdampfes gegen Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit,

$$\delta = 0{,}0021748 \frac{e}{213 + t}.$$

Mit Hülfe dieser Formel hat MARX eine Tabelle der Dichtigkeiten von — 7° bis + 47° R. berechnet; es ist aber sehr die Frage, ob GAY-LUSSAC's einzige Beobachtung sicher genug ist, um diesen allgemeinen Ausdruck darauf zu gründen; doch können wir uns bis zu weiteren Bestimmungen damit begnügen.

Ehe wir zu einer vorzüglich wichtigen Classe von Untersuchungen über die Dichtigkeiten der Dämpfe übergehn, wollen wir zuvor eine mehr isolirte, zugleich aber sehr interessante, den *Quecksilberdampf* betreffende Notiz erwähnen. Unter der Voraussetzung, dafs die Ausdehnung aller Gase und Dämpfe durch die Wärme sich gleich ist, kann die Dichtigkeit für gegebene Temperaturen leicht gefunden werden, wenn sie nur für eine bekannt ist und man das Gesetz der Elasticität kennt. Letzteres ist für *Quecksilber* durch AVOGADRO (§. 549) aufgefunden worden, und indem er dann nach DUMAS[1] die Dichtigkeit des Dampfes dieser Flüssigkeit beim Siedepuncte gegen atmosphärische Luft als Einheit = 7 setzt, findet er für 100° C., welcher Temperatur nach der berechneten Tafel eine Elasticität von 0,03 Millim. zugehört, = 0,0002, und in diesem Verhältnifs könnte daher auch bei dieser Temperatur Quecksilberdampf in der atmosphärischen Luft enthalten seyn. Weil aber ein Liter oder ein Kubikdecimeter Luft unter diesen Umständen 1,3 Gramm wiegt, so würde in dem Raume eines Kubikdecimeters 0,00026 Gramm oder etwa ein Viertel Milligramm Quecksilberdampf enthalten seyn, eine allerdings kaum mefsbare Gröfse.

554) Das Bestreben, die Atomgewichte der Körper genauer zu bestimmen, veranlafste eine schätzbare Reihe von Versuchen, deren eigentliche Resultate zwar aufser den Grenzen der hier zunächst zu untersuchenden Aufgabe liegen, die aber zugleich über die Dichtigkeit verschiedener Dämpfe sehr genäherte Bestimmungen enthalten, und obendrein dem ganzen Probleme

---

1 Vergl. §. 556, 2.

eben dadurch einen mehr wissenschaftlichen Charakter geben, daſs sie die Dichtigkeit der Dämpfe mit ihren Atomgewichten in Verbindung bringen. Da das Ganze zunächst in das Gebiet der Chemie gehört, so theile ich diejenige kurze Darstellung mit, welche Poggendorff[1] davon gegeben hat. Da sich die Atomgewichte der Körper ohne eine wesentliche Abänderung der Resultate gegen ihre Multipla oder Submultipla vertauschen lassen, jenachdem man in den binären Verbindungen dieser Körper eine gröſsere oder geringere Anzahl von Atomen des andern Körpers voraussetzt, so entsteht hieraus eine gewisse Willkür. Um diese zu beseitigen, ging Dumas von dem Grundsatz aus, daſs alle Körper sich in einfachen Volumenverhältnissen verbinden und daſs das specifische Gewicht ihrer Dämpfe, welches dem einfachsten dieser Verhältnisse entspricht, das wahre Atomgewicht dieser Körper sey. Bei Körpern, die für sich nicht wohl so verdampfbar sind, daſs man die Dichtigkeit ihrer Dämpfe zu messen vermöchte, bestimmt man die Dichtigkeit der Dämpfe ihrer Verbindungen mit einem für sich gasförmigen Körper von bekannter Dichte. Hierdurch und durch das Atomgewicht des für sich starren Bestandtheils findet man das Volumenverhältniſs, in welchem sich dieser mit dem Gase verbindet. Fällt das Volumenverhältniſs mit dem angenommenen Atomgewichte nicht einfach genug aus, so nimmt man ein Multiplum oder Submultiplum dieses Gewichts, und dasjenige, welches das einfachste Volumenverhältniſs liefert, ist dann als das wahre Atomgewicht zu betrachten. Hiernach fallen die Atomgewichte der elementaren Körper insgesammt mit den Dichtigkeiten oder specifischen Gewichten ihrer Dämpfe zusammen.

555) Dumas[2] war der Erste, welcher von diesen Grundsätzen ausgehend die Dichtigkeit verschiedener Dämpfe zu bestimmen suchte. Stellen wir das von ihm angewandte Verfahren im Allgemeinen dar, und ohne uns streng an die von ihm gewählten speciellen Modificationen zu binden, die mehr von der Willkür jedes einzelnen Experimentators abhängen, so
Fig. 84. brachte er die zu untersuchenden Körper in eine Glaskugel A,

1 Dessen Annalen. Th. IX. S. 293.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXIII. p. 337. Poggendorff's Ann. IX. 293.

die mit einer aus ihr auslaufenden feinen Spitze *a* versehn war. Um diese Kugel so weit zu erhitzen, dafs die darin befindlichen Körper in Dampf verwandelt wurden, welcher dann die Kugel ganz ausfüllte, indem der Rest aus der Spitze entwich, band er sie mittelst Platindrähten an eine Bleimasse p, senkte sie dann in ein Bad von Wasser, wenn die Temperatur des Siedepunctes der darin enthaltenen Flüssigkeit unter der des siedenden Wassers lag, im entgegengesetzten Falle aber von Schwefelsäure oder leichtflüssigem Metalle. Die Schwefelsäure eignet sich hierzu bei weitem am besten und ist namentlich dem Oele entschieden vorzuziehn, welches sich schwärzt, verdickt, durch seine Dämpfe unangenehm afficirt und obendrein die Apparate widerlich beschmuzt[1]. Das Glasgefäfs mit dem flüssigen Bade steht dann wieder in einem Sandbade und dieses wird auf eine leicht zu bewerkstelligende Weise erhitzt. Man könnte die sämmtlichen Theile der ganzen Vorrichtung von Substanzen verfertigen, welche unschmelzbarer und dem Zerspringen nicht so leicht ausgesetzt sind, als Glas; weil man aber sehn mufs, ob die gesammte Menge des zu untersuchenden Körpers wirklich verdampft ist, so mufs der zum Messen dienende Ballon nothwendig von Glas seyn, und die anzuwendende Hitze darf daher nicht über diejenige hinausgehn, wobei dieses weich wird. Reicht man aber mit einem Quecksilberthermometer nicht mehr aus, so bedient man sich eines

---

1 Ein solches Bad ist erforderlich, um die Temperatur, die der Verwandlung im Dampf zugehört, genau zu messen. Da aber dasselbe beschwerlich, die Vorrichtung übrigens zweckmäfsig ist, so fragt sich, ob nicht auch ohne ein solches Bad die Temperatur des Ballons, wenn er im bedeckten Gefäfse frei herabhinge, durch zwei oder mehr neben ihm aufgehängte Thermometer genügend bestimmt werden könnte, vorausgesetzt, dafs man die langsam steigende Hitze hinlänglich zu reguliren vermöchte. Fraglich bleibt ferner, ob sich die Temperatur der Verdampfung nicht aus den Dämpfen selbst, wie dieses beim Wasser geschieht, entnehmen liefse. Die thermomagnetischen Thermometer, s. Bd. IX. S. 998, wenn nur genau genug bestimmt, erlauben die Löthstelle eines feinen Platin- und Kupferdrahtes in den Ballon selbst hinabzusenken. Sehr zweckmäfsig ist endlich Mitscherlich's Luftthermometer §. 557, so lange die Temperatur nicht über diejenige Hitze hinausgeht, wobei das Glas weich wird; für höhere müfsten Platingefäfse und Pyrometer angewandt werden. S. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1014. Die vollständige Verdampfung könnte dann da angenommen werden, wo kein Dampf mehr entweicht.

Luftthermometers. Wesentliche Beachtung verdient das Hülfsmittel, die Spitze der Kugel, da wo sie aus der Oeffnung in einem hierzu angebrachten Metallbleche hervorragt, mit einigen glühenden Kohlen $\alpha$, $\beta$ zu umgeben, damit sich die Dämpfe in dieser Spitze nicht niederschlagen und dadurch Fehler herbeiführen. Sind die letzten Antheile der zu untersuchenden Substanz völlig verdampft, indem zuerst ein dichterer, nachher aber ein stets dünner werdender Dunst aus der Spitze entweicht, so wird die Spitze zugeblasen, der Apparat muſs langsam erkalten, und dann wird die Dichtigkeit des Dampfes durch Wägung bestimmt.

Die hierbei zu beobachtende Verfahrungsart beruht auf einfachen Principien. Die zugeschmolzene, mit dem Dampfe und einer unbestimmten Menge etwa zurückgebliebener Luft erfüllte Kugel wird nach dem Reinigen von allen anhängenden Substanzen gewogen und dann nach dem Abbrechen der Spitze unter Wasser oder Quecksilber geöffnet, um nach dem Eindringen dieser Flüssigkeit den noch vorhandenen Antheil Luft zu ermitteln. Demnächst wird der Ballon inwendig gereinigt, getrocknet, mit völlig trockner Luft gefüllt und abermals gewogen. Aus beiden Wägungen und einer vorausgegangenen oder nachher angestellten Wägung desselben, wenn er mit Wasser gefüllt war, findet man die gesuchten Gröſsen. Heiſst nämlich das Gewicht des mit Wasser gefüllten Ballons $= P$, des mit trockner Luft gefüllten $= p$, des mit Dampf und der wenigen zurückbleibenden Luft gefüllten $= p'$, so giebt $P - p + (P - p)\delta$, wenn $\delta$ das Verhältniſs zwischen der Dichtigkeit des Wassers und der Luft bezeichnet, den Rauminhalt des Ballons mit hinlänglicher Genauigkeit. Hieraus findet man durch Berechnung das Gewicht der Luft, welche ihn ausfüllt, $= p''$, und erhält dann aus $p' + p'' - p$ das Gewicht des Gemenges von Dampf und Luft, welches in demselben enthalten war. Hierbei muſs man die Ausdehnung des Ballons durch Wärme corrigiren, dann aber die Dichtigkeit des Wassers nach der bei der Wägung statt findenden Temperatur auf das Maximum seiner Dichtigkeit, und ebenso die der Luft nach dem jedesmaligen Barometerstande und der Temperatur auf 0,76 Meter und 0° Wärme reduciren, worauf dann nur noch erfordert wird, das corrigirte Volumen der zurückgebliebenen Luft und dessen Gewicht von dem Gewichte des Dampfes abzuziehn, um letzteres für sich zu haben,

was dann bei bekanntem Rauminhalte die Dichtigkeit dieses Dampfes giebt[1].

556) Bei den folgenden Angaben beschränken wir uns der Kürze halber zunächst nur auf die gefundenen Dichtigkeiten, ohne die daraus abgeleiteten Atomgewichte zu berücksichtigen; doch liefern die Versuche noch manche anderweitige interessante Thatsachen, die eine gelegentliche Erwähnung verdienen.

1. *Iod* fing bei 175° C. an, Dämpfe zu bilden, welche die Spitze zu verstopfen drohten. Letztere wurde daher mit Kohlen erwärmt und die Hitze bis 185° C. gesteigert. Anfangs war der Ioddampf violett, nachher aber wurde seine Farbe so intensiv, dafs man durch den Ballon weder das Tagslicht, noch auch eine Kerzenflamme sehn konnte; an den Rändern war die Farbe blau, im Widerscheine aber zeigte er sich völlig schwarz. Aus den Wägungen ergab sich seine Dichtigkeit = 8,716, von der Bestimmung durch Gay-Lussac[2] = 8,61 wenig abweichend.

2. Das Verhalten des *Quecksilbers* bei diesem Versuche ist an sich schon interessant. Es wurden 40 Gramm dieses gereinigten Metalls in den Ballon gebracht, und ungeachtet der langsamen Erhitzung fuhr dennoch der Dampf beim Siedepuncte desselben mit solcher Heftigkeit aus dem Röhrchen, dafs eine Explosion zu fürchten stand. Nach einer halben Stunde aber hörte die Dampfentwickelung fast plötzlich auf, und als nach einiger Zeit bei verstärktem Feuer und einer weit über den Siedepunct getriebenen Erhitzung kein Dampf mehr herausfuhr, wurde die Spitze zugeblasen. Bei den nachherigen Wägungen zeigte sich eine so kleine zurückgebliebene Luftblase, dafs sie nicht mefsbar war, und zudem konnte sie aus dem Wasser entstanden seyn; man kann also durch Quecksilberdämpfe gleichfalls einen luftleeren Raum bereiten. Die Dichtigkeit des Dampfes ergab sich = 6,976.

Die Dichtigkeiten der übrigen, aus ihren Verbindungen

---

1 Eine ausführliche Anleitung, die Resultate solcher Wägungen zu berechnen, zugleich mit Rücksicht auf die hierbei erforderlichen Correctionen, nebst Tabellen, worin diese letzteren für die verschiedenen Temperaturen und die ungleichen Barometerstände enthalten sind, giebt Poggendorff in seinen Annalen XLI. 449.

2 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 397.

gefundenen Dämpfe sind: *Phosphor*[1] im Mittel aus zwei Versuchen = 2,328; *Chlorphosphor* im Minimum = 4,875; *Arsenikwasserstoff* = 2,695; *Chlorarsenik* im Minimum = 6,3006; *Chlorsilicium* = 5,939; *Fluorsilicium* = 3,6; *Chlorboron* = 3,942; *Fluorboron* = 2,3124; *Chlorzinn* im Maximum = 9,1997; *Chlortitan* = 6,836.

557) Die von Dumas betretene Bahn verfolgte Mitscherlich[2] mit gewohntem Eifer und bekannter Genauigkeit und gelangte dadurch theils zu einer Prüfung bereits gefundener, theils zur Auffindung neuer Bestimmungen. Die wesentlichen Abänderungen der gebrauchten Apparate lassen sich leicht deutlich machen. Für die höchsten Hitzegrade wählte er statt eines Ballons längliche, an beiden Seiten fein ausgezogene Glasröhren, in welche er die zu untersuchenden Körper brachte, und bediente sich seines bereits beschriebenen Luftthermometers[3]. Beide legte er neben einander auf kupferne Haken Fig. 85. $\alpha$, $\alpha$, $\alpha$, $\alpha$ in einem metallenen Cylinder, welcher am einen Ende verschlossen, am andern mit Löchern $\gamma\gamma$ versehn war, durch welche die Spitzen des Meſsröhrchens und des Luftthermometers hervorragten. Dieser Cylinder ab, ab wurde in einen etwas weiteren geschoben, welcher nach innen und nach auſsen mit einigen hervorragenden Stäben versehn war, um eine Berührung desselben mit dem inneren und einem dritten äuſsersten zu hindern. Letzterer AA, BB war ein eiserner, von zolldicken Wandungen; er wurde in einen Ofen gelegt und die Hitze so regulirt, daſs derselbe überall möglichst gleichmäſsig roth glühte. Hiernach läſst sich mit Sicherheit annehmen, daſs sowohl das Luftthermometer, als auch die Meſsröhre einer durchaus gleichmäſsigen Wärme ausgesetzt waren, und somit lieſs sich die Hauptbedingung einer scharfen Temperaturbestimmung vollständig erreichen. Für Temperaturen unter 300° C. läſst sich ein Bad von leichtflüssigem Metall in Anwendung bringen, wenn aber die Wärme 110° C. übersteigt, so ist allgemein ein Bad von Chlorzink bei weitem vorzuziehn, denn dieses bleibt

---

1 Die richtigere Bestimmung wurde später gefunden, s. folgenden §. Anm.

2 Poggendorff's Ann. XXIX. 193. Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 1.

3 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 837.

flüssig bis zu seiner Verflüchtigung, die erst bei der Rothglühhitze eintritt; die Temperatur steigt viel langsamer, als beim Metallbade, und man kann daher die Operation sicherer leiten. Zur Aufnahme des Bades diente ein gufseisernes Gefäfs A, B, Fig. 86. 16 Zoll lang, 6 Z. breit und 6 Z. tief, unten mit zwei Ringen versehn, die sich durch Charniere öffnen liefsen, um das Mefsrohr *a*, *a* hineinzulegen und festzuhalten. An beiden Enden hatte das Gefäfs einen Einschnitt; der eine diente dazu, das Quecksilberthermometer durch ihn so hineinzuschieben, dafs dessen Kugel t auf der Mefsröhre ruhte, der andere, um die Spitze f dieser, die zu untersuchende Substanz enthaltenden Röhre durchzulassen, da diese fein ausgezogene Spitze zuerst rechtwinklig in die Höhe und dann wieder rechtwinklig horizontal gebogen war, wobei ein unter dem äufsersten Ende angebrachtes Drahtgeflecht *γ* zur Aufnahme einiger Kohlen diente, damit sich die Substanzen daselbst nicht niederschlugen. Bestand das Bad aus Wasser, Kochsalzauflösung oder einer Lösung von Chlorzink, so befand dieses sich in einem ähnlichen kupfernen Gefäfse AB, worin die Mefsröhre *αα* auf gleiche Fig. 87. Weise durch Ringe festgehalten wurde; die nicht gebogene Spitze f desselben, so wie die Röhren zweier nach beiden Seiten herausstehenden Thermometer t, t aber waren mittelst mehrerer Körke durch Löcher gesteckt, die sich in den Wandungen beider Enden des Gefäfses befanden. MITSCHERLICH stellt folgende gemessene Dichtigkeiten der einfachen sowohl, als auch der zusammengesetzten Gase und Dämpfe zusammen, und zur Vergleichung zugleich die nach den Atomgewichten berechneten, nebst der Anzahl der in ihnen enthaltenen Atome, die ich jedoch weglasse, da sie nicht direct in den Bereich unserer Untersuchungen gehören. Die Dichtigkeiten oder specifischen Gewichte beziehn sich auf atmosphärische Luft bei 0° C. Temperatur und unter einem Drucke von 0,76 Meter Quecksilberhöhe.

| Substanzen | Dichtigkeiten beobachtet | Dichtigkeiten berechnet | Beobachter |
|---|---|---|---|
| Sauerstoffgas . . . | 1,1026 | . . . . | Berzelius, Dulong |
| Wasserstoffgas . . . | 0,0688 | . . . . | Berzelius, Dulong |
| Stickgas . . . . . . | 0,9760 | . . . . | Berzelius, Dulong |
| Chlor . . . . . | 2,4700 | 2,4403 | Gay-Lussac, Thénard |
| Brom . . . . . . | 5,5400 | 5,3930 | Mitscherlich |
| Iod . . . . . . . | 8,7160 | 8,7011 | Dumas |
| Schwefel . . . . | 6,5635 | 6,6541 | Dumas[1] |
| . . . . . | 6,9000 | . . . . | Mitscherlich |
| Phosphor . . . . | 4,4200 | 4,3256 | Dumas[2] |
| . . . . | 4,5800 | . . . . | Mitscherlich |
| Arsenik . . . . . . | 10,6000 | 10,3654 | Mitscherlich |
| Quecksilber . . . | 6,9760 | 6,9785 | Dumas |
| . . . | 7,0300 | . . . . | Mitscherlich |
| Wasserdampf . . . | 0,6235 | 0,6201 | Gay-Lussac |
| Stickstoffoxydul . . | 1,5204 | 1,5273 | Colin |
| Stickstoffoxyd . . . | 1,0388 | 1,0393 | Bérard |
| Salpetrige Salpetersäure | 1,7200 | 1,5906 | Mitscherlich |
| Ammoniak . . . . | 0,5967 | 0,5912 | Biot, Arago |
| Chlorwasserstoff . . | 1,2474 | 1,2544 | Biot, Arago |
| Bromwasserstoff . . | 2,7311 | 2,7311 | Mitscherlich |
| Iodwasserstoff . . . | 4,4400 | 4,3850 | Gay-Lussac |
| Schweflige Säure . . | 2,2470 | 2,2116 | Berzelius |
| Schwefelsäure, wasserfrei . . . | 3,0000 | 2,7629 | Mitscherlich |
| Schwefelwasserstoff . | 1,9120 | 1,1778 | Gay-Lussac, Thénard |
| Chlorschwefel . . . | 4,7000 | 4,6580 | Dumas |
| Phosphorwasserstoff . | 1,1214 | 1,1896 | Dumas |
| . . . | 1,1455 | . . . . | Rose |
| Chlorphosphor, flüssiger | 4,8765 | 4,7414 | Dumas |
| fester | 4,8500 | 4,7900 | Mitscherlich |
| Arsenige Säure . . . | 13,8500 | 13,3000 | Mitscherlich |
| Arsenikwasserstoff . . | 2,6950 | 2,6945 | Dumas |
| Chlorarsenik . . . | 6,3006 | 6,2518 | Dumas |
| Iodarsenik . . . . | 16,1000 | 15,6400 | Mitscherlich |
| Quecksilberchlorüre . | 8,3500 | 8,2000 | Mitscherlich |
| Quecksilberchlorid . | 9,8000 | 9,4200 | Mitscherlich |

1 Diese Bestimmung ist das Mittel aus vier später angestellten Versuchen. S. Ann. de Chim. et Phys. T. L. p. 178. Poggendorff's Ann. XXVI. 559.

2 Nach Dumas ist das specifische Gewicht des Phosphordampfes bei 500° C. = 4,355, beim Siedepuncte desselben = 4,42. S. Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX. p. 210. Poggendorff's Ann. XXV. 396.

| Substanzen | Dichtigkeiten beob-achtet | Dichtigkeiten berech-net | Beobachter |
|---|---|---|---|
| Quecksilberbromüre . | 10,1400 | 9,6750 | Mitscherlich |
| Quecksilberbromid . | 12,1600 | 12,3730 | Mitscherlich |
| Quecksilberiodid . . | 15,9000 | 15,6800 | Mitscherlich |
| Schwefelquecksilber . | 5,5100 | 5,3900 | Mitscherlich |
| Selenige Säure . . | 4,0300 | . . . . | Mitscherlich |
| Antimonchlorüre . . | 7,8000 | . . . . | Mitscherlich |

558) Diesen Bestimmungen lassen sich noch einige hinzufügen, die später gefunden wurden und hier nur kurz erwähnt werden mögen. Amand Bineau[1] fand die Dichtigkeiten der nachfolgenden Dämpfe:

| | | |
|---|---|---|
| Salpetersäure mit 4 Atomen Wasser | | 1,27 |
| Ameisensäurehydrat | ungefähr | 1,59 |
| Salzsäurehydrat | | 0,69 |
| Hydroselensäure | | 2,79 |
| Hydrotellursäure | | 4,49 |
| Festes Chlorcyan | | 6,39 |
| Bromcyan | | 3,61 |
| Chromsaures – dreifach – Chlorbrom | | 5,52 |
| Hydriodsaurer Phosphorwasserstoff | | 2,77 |
| Hydrobromsaurer Phosphorwasserstoff | | 1,92 |
| Salzsaurer Phosphorwasserstoff | | 1,22 |
| Wasserfreies kohlensaures Ammonium | | 0,90 |
| Wasserfreies hydrothionsaures Ammonium | | 0,88 |
| Wasserfreies hydrotellursaures Ammonium | | 1,32 |
| Wasserfreies blausaures Ammonium | ungefähr | 0,77 |
| Wasserfreies salzsaures Ammonium | | 0,89 |

Auch diese Bestimmungen beziehn sich auf die Luft bei 0° C. und unter einem Drucke von 0,76 Meter Quecksilberhöhe und sollen mit den Atomgewichten sehr nahe übereinstimmen.

### d) Anwendung des Dampfes.

559) Man macht von den Dämpfen, namentlich den Wasserdämpfen, einen sehr wesentlichen Gebrauch, indem sie zu-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXVIII. p. 416.

erst als bewegendes Mittel, dann zur Auflösung der Körper und endlich zum Heizen und Erwärmen verwandt werden. Als bewegendes Mittel werden sie vorzugsweise bei den Dampfmaschinen verwandt, schwerlich dürften sie aber jemals zu Wurfgeschützen gebraucht werden.

Von den *Dampfmaschinen* ist in einem eigenen Artikel[1] ausführlich gehandelt worden, und es würde nicht geringen Raum erfordern, wollten wir hier alles dasjenige nachtragen, was seitdem verändert und verbessert, hauptsächlich aber als Verbesserung in Vorschlag gebracht worden ist. Inzwischen sind die physikalischen Principien, worauf diese merkwürdigen Apparate beruhn, und die verschiedenen Arten ihrer Construction dort angegeben worden, die zahlreichen Verbesserungen aber beziehn sich mehr auf das Technische, und in dieser Beziehung kann man wohl sagen, daſs der specielle Theil der Physik, den die Lehre von der Anwendung des Dampfes bildet, sich wegen seines Umfanges emancipirt und zu einem selbstständigen ausführlichen Ganzen ausgebildet habe. Vergleicht man die ersten rohen Versuche mit dem, was die Dampfmaschinen bei der Abfassung jenes Artikels geworden waren, so ist der Unterschied unermeſslich, und seitdem ist die Kunst mit noch ungleich rascheren Schritten weiter geeilt. Nach John Taylor[2] gaben unter andern gleiche Mengen Kohlen im Jahre 1828 einen 17mal so groſsen Nutzeffect, als bei den ersten Dampfmaschinen, und wenn gleich die Verbesserungen der neuesten Zeit nicht in gleichem Verhältniſs wachsen konnten, so sind sie doch im Ganzen wegen der ausnehmend gestiegenen Kunstfertigkeit nicht unbedeutend. Um solche Verbesserungen aufzufinden, dienen vorzüglich die Register, die über die Leistungen der zahlreichen Dampfmaschinen in den Kohlenminen von Cornwallis geführt werden, woraus sich unter andern ergab[3], daſs die stärkste unter 59 Maschinen mit einem Bushel oder 84 Pfund Steinkohlen 44497342 Pfund Wasser in 38 Min. 20 Sec. 1 Fuſs

---

1 S. Art. *Dampfmaschine*. Bd. II. S. 417.

2 Records of Mining. 1828.

3 S. Karsten's Archiv. Th. XVIII. S. 111. Vorzüglich Henwood in Edinburgh Journ. of Science N. XIX. p. 34. XX. p. 213. N. Ser. N. I. p. 65. III. p. 102. IV. p. 247. V. p. 46. VI. p. 207. Vergl. Davies Gilbert über die allmälig gemachten Verbesserungen der Dampfmaschinen zu Cornwallis in Philos. Trans. 1830. p. 121.

hoch, die schlechteste mit derselben Menge Brennmaterial 17196710 Pfund in 40 Min. 20 Sec. 1 Fufs hoch hob. Zugleich aber liegt es in der Natur der Sache, dafs sehr viele Vorschläge zur Verbesserung ebenso wichtiger, als allgemein gangbarer Maschinen gemacht werden, die nicht allezeit das leisten, was sie versprechen, und deren allseitige Prüfung hier zu weit führen würde. Wir müssen uns daher auf einzelne Bemerkungen beschränken, in Beziehung auf das Ganze aber auf diejenigen Werke verweisen, worin der Gegenstand erschöpfend behandelt worden ist[1].

Wäre einer hierüber mitgetheilten Angabe Vertrauen zu schenken, so würde die Erfindung der Dampfmaschinen selbst noch über die Zeit des Mathesius[2] hinausgehen, denn hiernach soll die Dampfmaschine schon im Jahre 1543 durch

---

1 Unter die vorzüglichsten gehört: J. Farey Treatise on the Steam-Engine. Lond. 1828. 4. The Steam-Engine, theoretically and practically displayed. By George Birkbeck and Henry and James Adcock, Civil Engeneers. Lond. 1827. 4. Mit Kupfern. Als einzelne werthvolle Abhandlungen über die Dampfmaschinen im Ganzen können ferner genannt werden: Bezaine in Mém. de l'Acad. Imp. de Petersb. VIme Sér. T. II. Liv. III. Dufour in Biblioth. Brit. T. XXXIV. p. 129, welcher zugleich Tabellen über den Effect der Dampfmaschinen nach dem Flächeninhalte des Kolbens und der Spannung des Dampfes berechnet hat. Eine gelehrte Abhandlung ist die von Fourier: Mém. sur la puissance mécanique de la vapeur. Par. 1827. 4. Eine kurze Darstellung des Princips der Expansionsmaschinen giebt Perkins in Edinburgh philos. Journ. N. XIII. p. 170. Will man sich über die vielfach abgeänderte Construction der Dampfmaschinen mit rotirender Bewegung unterrichten und sich zugleich einen Begriff von der Vielfachheit solcher Abänderungen machen, so giebt hierüber John Scott Russell in Edinb. New Phil. Journ. N. XLVII. p. 35 in einer kurzen, aber inhaltreichen Uebersicht genügende Auskunft. Er unterscheidet vier Classen derselben. Die erste ist die, wobei die Wirkung durch Reaction erfolgt, wie bei denen von Heron um 130 v. Ch., von Branca 1629, von Kircher 1643, von Daslesme 1699, von v. Kempelen 1785, von James Sadler 1791, von Richard Trevithic 1813 und von A. Craig 1834. Zur zweiten Classe gehören diejenigen, bei denen ein Zwischenmittel statt findet; zur dritten die, welche durch hydrostatische Reaction wirken, wozu nur die von Watt 1782 und von Bryan Donkin 1803 gehören; zur vierten endlich rechnet er diejenigen, bei denen der Stempel sich dreht. Masterman's Rad gehört nach ihm zur zweiten Classe.

2 S. Art. *Dampfmaschine.* Bd. II. p. 419.

Blasco de Garay, einen Spanier, erfunden worden seyn[1]. Nach Documenten im königl. Archive zu Simancas, welche Don Thomas Gonzales auffand und de Navarette dem Baron v. Zach mittheilte, zeigte Garay ein Boot, welches durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wurde, einer zur Prüfung ernannten Commission und auch dem Kaiser Carl V. selbst. Wie berichtet wird, befand sich darin ein Kessel mit heiſsem Wasser, und durch diesen wurden Räder an den Auſsenseiten des Bootes in Bewegung gesetzt. Die Commission bemerkte, es sey gegen diese Erfindung die stete Gefahr zu erinnern, die aus dem Zerspringen des Kessels hervorgehe[2].

560) Diejenigen Dampfmaschinen, welche am häufigsten in Anwendung gebracht werden, sind die von sogenanntem atmo-

---

1 Bullet. univ. N. IV. p. 382.

2 Das Geschichtliche über die Erfindung und Verbesserung der Dampfmaschinen findet man in Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. X. p. 322. Diese Abhandlung polemischen Inhalts von A. Ainger ist gegen eine kurz vorher bekannt gewordene von Arago gerichtet. Letzterer gab im Annuaire pour 1829 eine geschichtliche Uebersicht der Erfindung und allmäligen Verbesserung der Dampfmaschinen, worin er hauptsächlich zu zeigen sich bemühte, daſs die Schriftsteller, namentlich die englischen, allgemein die Erfindung dieser wichtigen Apparate dem Marquis von Worcester beilegten, da doch diese Ehre zwei Franzosen, Salomon de Caus und Dionysius Papinus, gebühre. Daſs der hier den englischen Gelehrten gemachte Vorwurf ungegründet sey, ergiebt sich bald aus der im Art. *Dampfmaschine* Bd. II. S. 417 ff. mitgetheilten Literatur. Ainger aber zeigt, daſs de Caus bloſs Heron's Maschine beschrieben und gar nicht als seine Erfindung angegeben habe, die Erzeugung eines Vacuums durch Dampf und die Benutzung seiner Elasticität sey aber durch Papinus erst dann vorgeschlagen worden, nachdem Savery's Maschine bekannt geworden war, die Papinus in seiner 1707 herausgegebenen Schrift mehr verstümmelt als verbessert für seine eigene Erfindung ausgegeben habe. Die Schrift, worauf Ainger sich bezieht, ist die im genannten Art. S. 428 angegebene: Papini Ars nova cet. Cass. 1707. Uebrigens finden sich in Ainger's Abhandlung keine historischen Nachweisungen, die nicht schon im genannten Art. dieses Werkes enthalten wären; wie aber Arago die Vorwürfe gegen die englischen Gelehrten veröffentlichen konnte, erscheint unbegreiflich, wenn man die geschichtlichen Nachweisungen würdigt, die in den im genannten Artikel angeführten classischen Werken, namentlich der Engländer enthalten sind, deren Verfasser die Verdienste der Einzelnen unparteiisch würdigen und namentlich auf Worcester's undeutliche Aeuſserungen einen sehr geringen Werth legen.

sphärischen Drucke und die Expansionsmaschinen; die älteren Savery'schen, die verschiedenen unmittelbar rotirenden und die mit hohem Drucke scheinen den Erwartungen weniger zu entsprechen und werden allgemein, hauptsächlich aber verhältnifsmäfsig, stets seltener. Colladon und Championnière[1] kennen in Frankreich nur fünf Savery'sche, drei im Departement der Seine, eine im Departement der unteren Loire und eine zu Lyon. Uebrigens sind sie nach ihren Versuchen mit drei solchen Maschinen der Meinung, dafs gerade diese vor den andern wegen ihrer Einfachheit, Sicherheit und des geringeren Verbrauches an Brennmaterial zum Heben des Wassers dann den Vorzug haben, wenn das zu hebende Wasser ohnehin um einige Grade erwärmt werden soll. Maschinen mit hohem Drucke, nach dem Vorschlage von Perkins, haben in England wenig Eingang gefunden; ob sie in America mehr in Gebrauch sind, vermag ich nicht zu bestimmen[2]. Inzwischen hat sich der Erfinder Mühe gegeben, sie zu verbessern und ihre vorzüglichen Eigenschaften hervorzuheben, im Wesentlichen sind sie aber nicht abgeändert worden[3], ihre Wirkungen werden von verschiedenen Beobachtern als ausgezeichnet beschrieben[4], sie sind in Frankreich und Italien bekannt geworden[5], und da sie dennoch keinen Beifall gefunden haben, so mufs die Ursache hiervon wohl in der (§. 534 angegebenen) Schwierigkeit liegen, die Gefäfse bei hohem Druck gehörig dampfdicht zu machen, welche Schwierigkeit durch die ungleiche Ausdehnung der Metalle in Folge der Erhitzung ausnehmend wächst. Auch nach Dufour (§. 539) müfste durch Anwendung einer höheren Elasticität ein bedeutender Nutzeffect erreicht werden, worauf wir später zurückkommen werden. Einige Verbesserungen der Dampfmaschinen hat Hall[6] bekannt gemacht, sehr empfohlen aber wurden die

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LIX. p. 24.

2 Ueber Perkins's high Prefs safety Steam-Engine findet man Nachricht in Silliman Am. Journ. T. XIII. p. 40.

3 Edinburgh Philos. Journ. N. XVII. p. 172. N. XXI. p. 211. Vergl. Dingler's polyt. Journ. Bd. XXVI. S. 89 u. a. v. a. O.

4 Z. B. Newton in Edinburgh Phil. Journ. N. XIV. p. 359.

5 S. Biblioth. univ. 1824. Mars.

6 Biblioth. univ. T. XXX. p. 77.

rotirende Dampfmaschine von MOREY[1], die von WHITE[2], die unmittelbar rotirende von BOUVIER[3], die von EVE[4], welche vielleicht unter allen die beste und am sinnreichsten construirt ist, die des Marquis DE MANOURY-D'ECTOT, worüber GIRARD's[5] Bericht nähere Auskunft giebt, und noch viele andere, die sich namhaft machen ließen, wenn es der Mühe werth wäre, alle die verschiedenen Angaben aufzusuchen. Unter diejenigen, welche namentlich in England die Leistungen der Dampfmaschinen und die verschiedenen Erfindungen zur Vermehrung ihres Nutzeffectes vorzugsweise beachten, gehören namentlich JOHN TAYLOR[6] und HENWOOD[7]; wir müssen uns aber darauf beschränken, alles dieses, was zur speciellen Betrachtung dieser wichtigen technischen Apparate gehört, nur im Allgemeinen anzudeuten. Kaum Erwähnung verdient endlich auch der neuerdings vielfach besprochene Vorschlag, den atmosphärischen Luftdruck gegen einen in luftleeren Röhren fortgleitenden Embolus als bewegendes Mittel für Wagen zu benutzen, wobei die Röhren auf ihrer oberen Fläche der ganzen Länge nach durch Klappen verschlossen seyn, diese aber beim Fortgange des Wagens durch eine an diesem angebrachte Vorrichtung gehoben werden sollen. Praktiker wissen recht gut, daſs so lange, und obendrein aufgeschnittene, Röhren für einen darin fortgleitenden Embolus luftdicht zu machen eine für die geübtesten Künstler unmögliche Aufgabe ist. Auf ähnliche Weise scheinen auch der Ausführung einer von zwei berühmten Ingenieuren, BRÜNEL und HENSCHEL, ausgegangenen Idee, statt des Dampfes comprimirte atmosphärische Luft in Anwendung zu bringen, allzugroſse Schwierigkeiten im Wege zu stehen. Dürfen wir in Beziehung auf die Construction der Dampfmaschinen im Ganzen die uns gebotenen Grenzen nicht überschreiten, so ist dieses noch mehr der Fall in Beziehung auf die zahlreichen Vorschläge zur Ver-

1 Edinb. Philos. Journ. N. II. p. 348. Vergl. Edinb. Journ. of Science N. X. p. 347.

2 Edinb. New Philos. Journ. N. II. p. 466.

3 Ann. de Chim. et Phys. T. III. p. 177.

4 Aus Repertory of Patent Inventions in Dingler's polyt. Journ. Th. XXII. S. 17. Vergl. Th. XXVII. S. 347.

5 Mém. de l'Acad. l'Institut de France T. VII. p. 419.

6 Philosoph. Magaz. and Ann. T. I. p. 241. Lond. and Edinb. Philos. Magaz. N. XLI. p. 369. XLV. p. 136.

7 Lond. and Edinb. Phil. Magaz. N. XLIV. p. 20.

besserung der einzelnen Theile, und es mag daher genügen, blofs auf dasjenige zu verweisen, was Alban[1] zur Sicherung der Dampfkessel für Hochdruckmaschinen angegeben hat, und eine ausführliche Abhandlung von Séguier[2] über die Dampfkessel im Allgemeinen hier namhaft zu machen.

561) Eine wichtige Frage, welche bei der Anwendung des Dampfes als Bewegungsmittel vorzugsweise in Betrachtung kommt und worüber bereits ausführlich gehandelt worden ist[3], verdient hier nochmals eine kurze Erörterung. Wie wir gesehen haben, wachsen die Grade der Wärme, wodurch die Spannung des Dampfes erhöht wird, nicht in gleichem Verhältnisse, als die Elasticitäten (§. 540), vielmehr bedarf es, um nur ein Beispiel anzuführen, nur 22° C. Temperaturerhöhung, um die zu 100° C. gehörige Elasticität des Dampfes zu verdoppeln. Hiernach scheint es, als sei der Nutzeffect des Dampfes von höherer Elasticität unverhältnifsmäfsig gröfser, wenn man annehmen dürfte, dafs für ein Verhältnifs der Temperaturen = 100:122 die Elasticität des Dampfes im Verhältnifs von 1:2 zunähme. Von der anderen Seite aber nehmen die Dichtigkeiten der Dämpfe in dem nämlichen Verhältnisse zu, in welchem die Elasticitäten wachsen, und da abgesehen von der Dichtigkeit gleich viel Wärme erfordert wird, um eine gegebene Quantität Wasser in Dampf zu verwandeln, so mufs hiernach der Nutzeffect des Dampfes von jeder Spannung gleich seyn. Dieses ist auch wirklich der Fall, wenn der Dampf von einfacher Spannung einen Embolus mit einer Kraft z. B. = 1, der von doppelter Elasticität aber einen gleich grofsen Embolus mit der Kraft = 2 hebt, und in dieser Beziehung gewähren also die Hochdruckmaschinen zwar einen gröfseren Effect, aber nur dem aufgewandten Brennmaterial und der Dichtigkeit nebst der Elasticität des dadurch erzeugten Dampfes proportional, also keinen vermehrten Nutzeffect. Man mufs aber zugleich überlegen, dafs der benutzte Dampf, nachdem er den Embolus gehoben hat, mit seiner ganzen Elasticität entweicht, also dafs bei einfachem Drucke Dampf von der Elasticität = 1, bei doppeltem Drucke aber solcher von der Elasticität = 2 verloren wird, welcher

1 Dingler's polytechn. Journ. Th. XXXIX. S. 241.
2 Ebendaselbst. Th. XLIV. S. 401.
3 S Art. *Dampf*. Bd. II. S. 306.

letztere immerhin noch eine bedeutende Kraft äufsern könnte, was uns daher auf das Princip der Expansionsmaschinen[1] führt. Zur nähern Bestimmung der Sache nimmt G. G. SCHMIDT[2] an, dafs ein Kubikfufs Dampf von doppelter Spannung und ein Kubikfufs Dampf von zehnfacher Spannung beide auf einen Embolus von 1 Quadratfufs Fläche wirken, und zwar so, dafs sie sich bis zum Druck von einer Atmosphäre ausdehnen. Sofern die mechanischen Effecte nicht von der momentanen Pressung, sondern von der Summe der Wirkungen abhängen, die Spannkräfte der sich ausdehnenden Dämpfe aber stets im verkehrten Verhältnisse der Räume stehen, durch welche sie sich ausgedehnt haben, so steht die Summe aller Wirkungen im zusammengesetzten Verhältnisse der anfänglichen Spannungen und der Logarithmen der Räume. Hiernach ist in dem gewählten Beispiele das Verhältnifs der mechanischen Wirkungen:

$$2 \text{ Log. } 2 : 10 \text{ Log. } 10 = 0{,}6 : 10 = 6 : 100,$$

das Verhältnifs des erforderlichen Feuerungsaufwandes ist aber:

$$2 : 10 = 1 : 5,$$

mithin bei gleichem Feuerungsaufwande das Verhältnifs der mechanischen Effecte $= 6 : 23$, was das Dreifache noch übersteigt. Zu einem hiervon bedeutend abweichenden Resultate gelangt DUFOUR[3] durch eine sehr ausführliche Untersuchung dieser Aufgabe, wobei er zugleich auf vermehrte Reibung und den wahrscheinlichen Verlust von Dampf Rücksicht nimmt. Man darf hoffen, sagt er, dafs ein gleicher mechanischer Effect durch die Hälfte des Brennmaterials oder ein doppelter mechanischer Effect für gleichen Aufwand von Brennmaterial durch Anwendung des Dampfes von hohem Drucke gegen den von niedrigem Drucke erhalten werde, allein auf gröfsere Effecte ist nicht zu rechnen.

562) Ein Gegenstand, welcher sich zwar zunächst auf die technische Anwendung bezieht, zugleich aber die physikalischen Gesetze sehr in Anspruch nimmt, ist die Frage, auf welche Weise die mit der Hitze stets wachsende Elasticität des Dampfes in den gehörigen Schranken gehalten wird, um nicht durch Uebermafs Nachtheil zu bringen. Seit der Einführung der

---

1 S. Art. *Dampfmaschine.* Bd. II. S. 443.
2 Hand- und Lehrbuch d. Naturlehre. Giefs. 1826. S. 448.
3 Bibliothèque univers. T. XXXIV. p. 148.

Dampfmaschinen in den Bergwerken und den Fabriken, insbesondere nach ihrer Anwendung zur Bewegung der Schiffe und der Locomotiven auf den Eisenbahnen hörte man wiederholt die betrübenden Nachrichten vom Zerspringen der Kessel und von den schrecklichen Verheerungen, die durch diese Aeufserungen einer ungezügelten Kraft hervorgebracht wurden. Dieses bewog nicht blofs die Physiker, auf die zweckmäfsigsten Mittel zur Verhütung solcher Unglücksfälle ihre Aufmerksamkeit zu richten, sondern auch die Regierungen fanden sich veranlafst, zur Sicherung des Publicums die Anwendung dieser so leicht gefährlichen Maschinen einer öffentlichen Controle zu unterwerfen. Insbesondere ist dieses im Jahre 1830 in Frankreich durch diejenigen Ordonnanzen geschehen, welche die erforderliche Prüfung der Maschinen und insbesondere der Dampfkessel bestimmen[1]. Die hierzu erforderlichen Gröfsenbestimmungen wurden hauptsächlich aus zwei Untersuchungen entnommen, nämlich aus der bereits erwähnten der Pariser Akademie, über die mit den Temperaturen wachsende Elasticität des Wasserdampfes (§. 534 ff.), und aus einer zweiten ausführlichen von Arago über die Ursachen des Zerspringens der Dampfkessel. Da die meisten in Anwendung gebrachten Dampfmaschinen nur solche von einfachem atmosphärischem Drucke sind, wobei allerdings in Folge der mechanischen Construction die Hitze des Wassers einige Grade über den Siedepunct gesteigert, mithin auch die Elasticität des Dampfes etwas über den mittleren atmospärischen Luftdruck erhöhet wird, so kann die zum Widerstande hiergegen erforderliche Stärke, namentlich des Kessels, nicht sehr bedeutend seyn, wenn man berücksichtigt, dafs der inneren Elasticität des Dampfes die äufsere der atmosphärischen Luft entgegenwirkt, mithin unter Voraussetzung völliger Gleichheit beider nur eine verschwindende Dicke der Wandungen erfordert würde. Wirklich ergab auch die Erfahrung durch eine genaue Prüfung der die Unglücksfälle dieser Art begleitenden Umstände, dafs bei weitem in den meisten Fällen das Zerspringen der Kessel durch eine ganz unglaubliche Nachlässigkeit, mitunter durch eine ganz eigentlich frevelhafte Unbesonnenheit der Arbeiter herbeigeführt worden war, indem sie die Verstopfung der Ventile nicht beachteten oder absichtlich herstell-

1 Sie finden sich in Annales des Mines 1830. T. VIII. p. 109.

ten und durch übertriebene Heizung die Leistungen der Maschine über ihre Grenzen zu treiben suchten. In einigen Fällen ereigneten sich jedoch solche Unglücksfälle, bei denen sich keine Nachlässigkeit auffinden liefs, vielmehr das Zerspringen durch unbegreifliche Ursachen herbeigeführt schien. Die Ermittelung dieser mehr verborgenen Gründe des Zerspringens der Dampfkessel veranlafste ARAGO[1] zu einer umfassenden Prüfung aller hierbei mitwirkenden Bedingungen in einer gediegenen und allgemein beachteten Abhandlung, deren wesentlichsten Inhalt wir mittheilen wollen.

563) ARAGO zählt zuerst die bedeutendsten Erfahrungen über das Zerspringen der Dampfkessel auf, wobei die Ventile nicht verschlossen waren. Dahin gehört das furchtbare Ereignifs zu Lochrin bei Edinburg am 21sten März 1814, wobei der obere Theil des Kessels, 140 Centner an Gewicht, durch das zweite Stockwerk und dann 70 Fufs weit zur Seite geschleudert worden war. Uebergehn wir die Fälle, in denen die Ventile festgemacht oder übermäfsig belastet waren und das Zerspringen daher nothwendig ward, so erscheinen andere dagegen um so paradoxer, je weniger eine so nahe liegende Ursache bei ihnen vorhanden war. Dahin gehört das Zerspringen des Dampfkessels in der Seidenspinnerei zu Essonne am 3ten Febr. 1823 und wenige Tage nachher in einer Fabrik zu Paris, nachdem kurz zuvor die Maschinen merklich langsamer gingen, als gewöhnlich, und indem die Ventile sich bei der Explosion wirklich öffneten. Auch die Maschine des Dampfbootes Aetna in America liefs in ihrer Wirkung vor dem Zerspringen nach, die des Dampfbootes Rapide zu Rochefort zeigte am Manometer eine geringere Spannung des Dampfes, und bei der des Dampfbootes Graham waren kurz vorher 20 Pfund Gewicht vom Ventile weggenommen worden. Zu Lyon zersprang ein Kessel unmittelbar nachher, als man durch Oeffnen eines Hahns eine Quantität Dampf herausgelassen hatte. Auf gleiche Weise hat man nicht zu bezweifelnde Erfahrungen, dafs Ventile sich hoben, was in Folge gröfserer Spannung des Dampfes erfolgen mufste, nachdem man eine Quantität Dampf durch Oeffnen eines Hahns hatte entweichen lassen. Zu Pittsburg in America

1 Annuaire pour 1830. p. 137. Daraus in Wiener Zeitschrift. Bd. VII. S. 477. Poggendorff's Ann. XVIII. 287.

zersprang einer der drei Kessel einer Maschine, nachdem er wegen zu geringer zugeführter Wassermenge rothglühend geworden war. In einem von PERKINS mitgetheilten Falle bekam der Kessel einen Rifs, aus welchem Dampf strömte; er wurde hierdurch etliche Fufs von seiner Unterlage in die Höhe gehoben und zersprang dann in der Luft.

Es scheint, als könne man solchen Unglücksfällen leicht durch Anwendung der seit den ältesten Zeiten bekannten Ventile begegnen, die aus einer auf einer runden Oeffnung aufliegenden Scheibe bestehen, welche dann nach Befinden mit schwereren oder leichteren Gewichten belastet werden. Die angegebenen Beispiele zeigen jedoch, dafs unter Umständen solche Oeffnungen keine zur Sicherung hinlängliche Menge Dampf durchlassen, und wollte man die Oeffnungen zu sehr vergröfsern, so würde dieses das genaue Schliefsen erschweren und allzugrofse Gewichte erfordern[1]. Aufserdem aber tritt hierbei das durch CLEMENT[2] entdeckte Phänomen hindernd ein, wonach die bedeckende Platte zwar gehoben, durch die atmosphärische Luft aber so sehr wieder niedergedrückt wird, dafs der elastische Dampf in zu geringer Menge entweicht und die Wandungen des Kessels seiner Gewalt nicht zu widerstehn vermögen. Nach den gesetzlichen Bestimmungen in Frankreich mufs ein gufseiserner Dampfkessel bei der Probe, ehe er gestempelt wird, einen fünffachen, ein kupferner und von Schmiedeeisen verfertigter aber einen dreimal stärkeren Druck aushalten, als welchem er beim Gebrauch zu widerstehn hat, und dennoch gewährt dieses keine vollkommene Sicherheit. Versuche von TREMERY haben nämlich gezeigt, dafs die Cohäsion des Schmiedeeisens in mittlerer Temperatur sechsmal stärker ist, als bei der Rothglühhitze, und wenn daher ein Theil des Kessels unglücklicherweise bis zu dieser gelangt, so kann er der bestandenen Probe ungeachtet zerplatzen. Allerdings könnte man die Probe auch mit Dampf anstellen, statt mit einer Wasserpumpe; erstere würde aber unermefslich ausgedehnte Vorrichtungen erfordern und die Probirenden einer sehr nahen Gefahr

---

1 Poggendorff in Ann. a. a. O. S. 303 bemerkt, dafs die Oeffnungen nicht selten zu klein, die überragenden Ränder der bedeckenden Scheibe aber zu grofs sind.

2 Vergl. Art. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 679.

aussetzen, statt daſs bei der Anwendung einer Wasserpumpe auch beim Zerplatzen für die Umstehenden nichts zu fürchten ist. Bei den letzteren Proben wächst auſserdem der Druck allmälig, und sie geben daher keine sichere Auskunft über die Folgen einer plötzlich eintretenden Vergröſserung des Druckes, wie auch über diejenige Stärke, welche das Metall nach längerer Einwirkung der Hitze noch behält. Vor allen Dingen ist daher erforderlich, den Kessel wiederholt zu prüfen und insbesondere das zu vermeiden, was eine plötzliche starke Erzeugung des Dampfes bewirken kann. Auſserdem aber kann das Ventil durch Oxydation oder durch klebrige Substanzen stark adhäriren, und es muſs daher nicht zu lange, wenigstens keine ganze Woche ungeöffnet bleiben. In Frankreich ist zu mehrerer Sicherheit vorgeschrieben, daſs jeder Kessel zwei Ventile habe, deren eins in einem Kasten eingeschlossen ist, wozu bloſs der Eigenthümer oder der Maschinist den Schlüssel hat.

Arago nennt unter den Sicherungsmitteln auch die leichtflüssigen Metalle, wovon er jedoch bloſs angiebt, daſs sie als Platten in den Kessel eingelöthet werden. Nach der französischen Ordonnanz sollen zwei Platten in jeden Dampfkessel eingesetzt seyn, eine kleinere, deren Schmelzpunct 10° C. höher liegt, als die zur Erzeugung des Dampfes bestimmte Temperatur, und eine gröſsere von abermals 10° höher liegendem Schmelzpuncte. Die gegen sie gemachte Einwendung, daſs ihr Schmelzen ohne übermäſsige Elasticität des Dampfes bloſs durch zu groſse Hitze erfolgen könne, muſs um so nichtiger erscheinen, als gerade die partielle übergroſse, bis ans Glühen reichende, Hitze der Kessel ihr plötzliches Zerspringen herbeizuführen pflegt. Zwei andere Einwendungen aber, zuerst daſs das Metall vor seinem Schmelzpuncte erweicht und herausgeschleudert werden könne, wogegen es übrigens durch ein feines Drahtgeflecht geschützt werden soll, und zweitens daſs nach dem Schmelzen des Metalls der Kessel auf einige Zeit bis zur Wiederherstellung unbrauchbar werde, was namentlich für Dampfboote gefährlich werden könne, beruhen nach Poggendorff's Bemerkung auf einer unrichtigen Vorstellung der Sache. Nach der Einrichtung der Sicherungsmittel durch leichter flüssige Metalle, welche ihr wahrscheinlicher Erfinder v. Reichenbach [1] bei

1 Vergl. Schweigger's Journ. XVIII. 276.

seinen Dampfmaschinen in Anwendung brachte, wird das Metall in konische eiserne Röhren gegossen, die durch Reibung in Dillen festgesteckt sind; das Metall kann also nicht durchgedrückt werden, bis es geschmolzen ist, und die Wiederherstellung geschieht leicht, indem blofs erfordert wird, einige solche Kegel bereit zu halten und statt der beschädigten in die Dillen zu stecken. Ob es übrigens zweckmäfsig sey, die Einrichtung so zu treffen, dafs das im Kessel befindliche Wasser nach dem Schmelzen des Metallgemisches zu den Kohlen gelange und diese auslösche, wage ich aus Mangel an Erfahrungen hierüber nicht zu entscheiden. Von der einen Seite ist zwar das baldige Auslöschen des Feuers unverkennbar sehr nützlich, von der andern aber verdient die Wirkung der grofsen Menge des hierdurch plötzlich erzeugten Dampfes berücksichtigt zu werden. Dieses Sicherungsmittel dient übrigens nur zur Vermeidung von Unglücksfällen und schliefst die gewöhnlichen Ventile nicht aus, welche ohnehin zum Herauslassen des Dampfes unentbehrlich sind. Nach Arago hat man statt der leichtflüssigen Metallplatten auch schwer schmelzbare, aber so dünne Platten vorgeschlagen, dafs sie früher zerreifsen, als der Dampf den ganzen Kessel zu zersprengen vermag. Inzwischen sollen die Sicherungsplatten selten gebraucht worden sein, weil sich auf experimentellem Wege schwer bestimmen lasse, welche Dicke der Platte bei gegebener Gröfse der Oeffnung erforderlich sey [1], oder weil man nicht dafür stehen könne, stets Platten von der angemessenen Beschaffenheit zu erhalten. Das Manometer soll als sicherstes Ventil gelten, weil es dem Arbeiter augenblicklich zeigt, ob die bestimmte Grenze überschritten wird, und wäre es zufällig verstopft, so würde seine gänzliche Bewegungslosigkeit, die bei der stets wechselnden Elasticität des Dampfes nicht statt finden kann, dieses anzeigen. Obgleich dieses unzweifelhaft gewifs ist, so möchten wir doch dagegen erinnern, dafs die Arbeiter selbst aus frevelhafter Unbesonnenheit ebenso gut das Manometer entweder unbeachtet lassen oder gar absichtlich verstopfen können, als sie dieses bei den

---

1 Die Bestimmung müfste aus dem Drucke entnommen werden, welchen der Dampf gegen einen Quadratzoll der Platte ausübt, aus der Gröfse der Platte und der Cohäsion des gewählten Metalls. Vergl. Art. *Röhren.* Bd. VII. S. 1402.

Ventilen thun; inzwischen kann dieser Miſsbrauch das sehr wichtige und ganz unentbehrliche Manometer nicht überflüssig oder gar unnütz machen. Ein Hauptumstand aber, welcher alle angegebene Sicherungsmittel beschränkt und zuweilen ihre Wirksamkeit ganz aufhebt, soll sogleich näher erörtert werden; denn was ARAGO über die Nothwendigkeit der einwärts gehenden oder umgekehrten Ventile sagt, ist bereits oben[1] erwähnt worden.

Aus allen diesen Betrachtungen folgt, daſs die Dampfmaschinen nach der erforderlichen Prüfung der Kessel und bei gehöriger Aufmerksamkeit der Arbeiter eine gleiche Sicherheit gewähren, als alle andere groſse Maschinerien; denn daſs auch bei diesen durch Unvorsichtigkeit bedeutende Unglücksfälle und Beschädigungen der Arbeiter und der in ihrer Nähe befindlichen Menschen überhaupt herbeigeführt werden können und oft herbeigeführt werden, ist allbekannte Erfahrung; die beachteten Ereignisse dieser Art scheinen nur bei den Dampfmaschinen häufiger zu seyn, weil gerade diese so vielfach angewandt werden und die im Verhältniſs zu ihrer Menge selten zu nennenden Explosionen der Dampfmaschinen allerdings dann, wenn sie sich ereignen, sehr bedeutenden Schaden anrichten. Die Ursachen der vorgekommenen Unglücksfälle liegen offen vor und ebenso die Mittel, sie zu verhüten, allein unerklärt bleiben die Ereignisse, daſs Dampfkessel platzten, nachdem die Elasticität ihres Dampfes geringer geworden war, und selbst während das Ventil sich geöffnet hatte. ARAGO gesteht selbst, daſs PERKINS die höchst wahrscheinliche Ursache dieser Phänomene aufgefunden habe und er selbst daher dessen Meinung mittheile[2]. Die Sache, einfach genommen, beruhet darauf, daſs der Kessel an den Stellen, wo ihn das Wasser berührt, ebenso wie letzteres selbst, keine höhere Hitze annehmen kann, als welche dem Drucke des erzeugten Dampfes angemessen ist. Wenn aber das Feuer auf Theile des Kessels wirkt, die nicht mit Wasser in Berührung sind, so kann der vorhandene Dampf eine weit gröſsere Hitze erhalten, als welche seiner Elasticität zugehört, er ist dann kein gesättigter. Wird derselbe, eben

1 S. Art. *Dampfmaschine.* Bd. II. S. 468.

2 Die Abhandlung von PERKINS findet man in Edinburgh Philos. Journ. N. XIII. p. 166.

durch das Oeffnen des Ventils, zum Theil entfernt, schleudert der dann stärker sich entwickelnde Dampf eine Quantität Wasser in den stark erhitzten Dampf und bringt er dasselbe mit den heifsen Wandungen in Berührung, so tritt plötzlich eine so starke Dampfentwickelung ein, dafs eine Explosion nothwendig erfolgen mufs. Als Beweise der Richtigkeit dieser Ansicht können die Erfahruugen dienen, dafs Moyle einst die unteren Theile einer auf dem Dampfkessel stehenden Leiter brennend fand, und ebenso entzündete sich in einem andern Falle ein Fichtenbret auf dem Dampfkessel des Packetbootes zwischen Liverpool und Dublin. Perkins selbst mafs bei einem Kessel, bei welchem nur $\frac{1}{6}$ mit Wasser gefüllt war, das Feuer aber bis $\frac{2}{6}$ reichte, die Temperatur des Wassers mit einem bis auf den Boden hinabgesenkten Thermometer, und fand sie 104° C., welche Wärme auch der Dampf dicht über der Oberfläche des Wassers hatte, in der halben Höhe des Kessels aber zeigte das Thermometer 260° C. und der Deckel war rothglühend. Dafs von dem nach aufgehobenem Drucke schnell aufkochenden Wasser losgerissene Tropfen bis in den stark erhitzten höheren Raum des Kessels geschleudert werden, mufs man nach bekannten Erscheinungen als gegründet betrachten, und die hierdurch, so wie durch die Einwirkung der glühenden Wände plötzlich erzeugte unglaubliche Menge von Wasserdampf wird dann Ursache der erfolgenden gewaltsamen Explosion. Perkins hat ohnehin diese schnelle Dampfproduction durch directe Versuche mit einem Generator erwiesen. Diese Betrachtungen erhalten übrigens durch die beobachteten Explosionen volle Bestätigung.

Arago versucht dann weiter den Umstand zu erklären, dafs mitunter die Kessel in einer nahe über dem Wasserspiegel hinlaufenden geraden Linie abgerissen sind. Nach seiner Ansicht liegt die Ursache hiervon darin, dafs bei abnehmender Spannung des Dampfes der Kessel durch den atmosphärischen Luftdruck nach innen gebogen werde, welche Biegung jedoch den mit Wasser gefüllten Theil am wenigsten, den unmittelbar darüber befindlichen am stärksten treffe. Nach plötzlicher Dampferzeugung erfolge eine entgegengesetzte Ausbeugung, welche an derselben Stelle abermals am stärksten sey und dann das Zerreifsen herbeiführe. Arago erwähnt, dafs aufserdem diese Linie den Kessel in zwei Zonen von sehr ungleicher Festigkeit theile, indem oberhalb derselben das Metall weit stärker

erwärmt sey, als das Wasser, allein mir scheint die Hypothese der zuerst nach innen und dann nach aufsen so schnell nach einander erfolgenden Biegungen etwas gewagt und nicht durch die Erfahrung unterstützt. Zuerst ist gar kein Grund vorhanden, in den beiden Fällen zu Lochrin und zu Lyon, wo die oberen Hälften der Kessel in einer genau horizontalen Linie abgerissen waren, ein solches Herabsinken der Elasticität des Dampfes anzunehmen, dafs die nachher zerplatzenden Kessel von aufsen vorher eingedrückt worden wären, zweitens aber werden bei solchen Zusammendrückungen die ganzen Flächen gebogen, bis sie an den schwächsten Stellen, aber nicht in einer geraden Linie, zerreifsen, wie auch aus dem allseitig verbreiteten Drucke nothwendig folgt. Endlich aber müfsten wohl Spuren einer solchen wechselnden Biegung beim Zerplatzen selbst oder an den zerrissenen Kesseln wahrgenommen worden seyn. Dagegen läfst sich mit Grund voraussetzen, da das Feuer von unten her einwirkt, das Wasser aber mehr Wärme ableitet, als der Dampf, dafs unmittelbar über dem Wasser, also in der durch den Rifs bezeichneten Linie, das Metall am heifsesten und seine Cohäsion daher am geringsten seyn mufs. Zudem pflegt Eisen, zunächst zwar nur Gufseisen[1], sobald es partiell erhitzt wird, leicht von selbst und zwar meistens in geraden Linien zu zerspringen, diese gerade Linie war aber in diesen Fällen durch die Grenze der gröfsten Erhitzung über dem abgekühlten Theile bezeichnet. Uebrigens folgt hieraus, dafs vor allen Dingen der Kessel vor einem zu niedrigen Wasserstande verwahrt werden mufs, damit er nicht an einigen Stellen eine zu grofse Hitze annehme. Perkins zeigt daher, wie nothwendig eine in den Kessel hinabgehende, durch einen Hahn verschlossene, Röhre sey, deren Mündung nur bei zu niederigem Wasserstande frei wird und welche daher die drohende Gefahr anzeigt, wenn aus ihr beim Oeffnen Dampf statt Wasser ausströmt.

564) Arago prüft weiter auch die Meinungen anderer berühmter Techniker über das paradoxe Zerspringen der Kessel bei geöffneten Ventilen. Dahin gehört zuerst die von Marestier,

---

1 Die beiden zersprungenen Kessel, worauf sich diese specielle Untersuchung bezieht, waren der Angabe nach von Schmiedeeisen; doch ist dieses bei dem zu Lochrin kaum glaublich, da die Wandungen der Angabe nach *vier Zoll* Dicke hatten.

wonach das glühende Metall durch das Aufwallen des Wassers in Folge des entweichenden Dampfes plötzlich abgekühlt und aufserdem die augenblicklich erzeugte Menge des Dampfes durch das glühende Metall gebildet werden soll, statt dafs nach Perkins der schon vorhandene sehr heifse Dampf die hierzu erforderliche Wärme hergiebt[1]. Arago wendet hiergegen ein, dafs nach den Erscheinungen im Leidenfrost'schen Versuche (§. 532) sehr heifses, vor allen Dingen glühendes, Metall das Wasser nicht verdampfen macht; allein dieses ist wohl zu einseitig aufgefafst, denn von der andern Seite zeigt die tägliche Erfahrung, dafs glühendes Eisen, in Wasser getaucht, letzteres unter gewaltsamem Aufwallen stark in Dampf verwandelt, wobei es selbst schnell abgekühlt wird. Es würde nicht schwer seyn, beide Phänomene in Einklang zu bringen, was ich jedoch der Kürze halber übergehe, inzwischen unterliegt es wohl keinem Zweifel, dafs die Berührung des heifsen Metalls mit dem kälteren Wasser eine Hauptursache der plötzlichen starken Dampfbildung, und die bewirkte Abkühlung des Metalls dann wieder Ursache des Zerspringens sey. Eine andere Hypothese von Gensoul, wonach das Entweichen des Dampfes einen Rückstofs nach der entgegengesetzten Seite erzeugen soll, welcher nach Art eines Hammerschlages plötzliches Zerreifsen des stark gespannten Metalles bewirke, ist nach Arago deswegen unzulässig, weil sie eine vorausgehende starke Spannung des Dampfes voraussetzt, die nach den Erfahrungen nicht vorhanden ist, wonach vielmehr zuweilen ein Nachlassen der Elasticität des Dampfes vorausgeht. Obgleich hiergegen erinnert werden könnte, dafs das Oeffnen der Ventile in den Fällen, wo dieses dem Zerspringen vorausgeht, die starke Spannung des Dampfes beweise, so dürfte doch die angegebene Ursache als überflüssig und unstatthaft erscheinen; denn fände ein solcher Rückstofs wirklich statt, so müfsten sich die Wirkungen desselben bei jedem Oeffnen des Ventils auf irgend eine Weise zeigen, und ist auf der einen Seite einmal die gewaltsame Entwickelung des Dampfes vorhanden, so genügt diese zur Erklärung des Zerspringens der Kessel, die nicht wie durch einen Stofs oder Schlag einen Rifs bekommen,

---

1 Nach Dulong genügt letztere wegen der latenten Wärme des zu bildenden Dampfes hierzu nicht, wie Arago bemerkt was und an sich wohl nicht zweifelhaft seyn kann.

sondern durch das expandirte Medium aus einander gerissen werden, welches seine Anwesenheit und Wirkung durch den enormen Knall beurkundet. Nach einer dritten Hypothese[1] soll aus dem durch das erhitzte Eisen der Kessel zersetzten Wasser Hydrogengas gebildet werden, dieses sich mit atmosphärischer Luft mischen und das so gebildete Knallgas nach der Entzündung die Explosion herbeiführen. Hiergegen läſst sich aber anführen, daſs zwar ohne Zweifel Wasserstoffgas gebildet wird, und zwar bei starker Erhitzung des Eisens in nicht geringer Menge, so daſs es, mit dem Dampfe zugleich entweichend, immerhin den langsameren Gang der Maschinen herbeiführen könnte, allein zu seiner Explosion fehlt auf der einen Seite das erforderliche Sauerstoffgas, auf der andern das Mittel der Entzündung. Atmosphärische Luft ist im Kessel nicht in bedeutender Menge vorhanden, und obendrein wird der geringe Theil Sauerstoffgas, welcher aus dieser oder aus der im Wasser enthaltenen Luft entnommen werden könnte, früher durch das heiſse Eisen verzehrt, als dieses das Wasser zerlegt; zur Entzündung des Knallgases würde dann aber die erforderliche Glühhitze fehlen, und zu einem elektrischen Funken seine Zuflucht zu nehmen wird wohl niemandem ernstlich einfallen, da noch obendrein die im Wasserdampfe vertheilte, auf jeden Fall geringe, Menge Knallgas überhaupt nicht entzündet werden könnte. Unleugbar dagegen wird in den Hohöfen oft eine groſse Menge Kohlenoxydgas und Kohlenwasserstoffgas erzeugt, dieses verbindet sich leicht mit atmosphärischer Luft zu Knallgas, und mitunter entstehen hierdurch die gewaltsamsten Explosionen, die jedoch mit dem Zerspringen der Dampfkessel nichts zu thun haben. Endlich übersieht Arago bei seiner ausführlichen Untersuchung das Ansetzen des Pfannensteins nicht, welches nach der gröſseren Verunreinigung des angewandten Wassers in kürzerer Zeit und mit beträchtlich wachsender Dicke erfolgt. Dieser Bodensatz ist schlechter Wärmeleiter, das unter ihm befindliche Metall wird daher übermäſsig heiſs und demnach dem Zerreiſsen leichter ausgesetzt, aber diese Gefahr wird auſserdem noch dadurch vermehrt, daſs in dem Ueberzuge Risse entstehn, durch welche das Wasser zum Metalle gelangt und dieses

1 Diese ist von Taylor aufgestellt oder vertheidigt worden. S. Edinburgh New Philos. Journ. N. XII. p. 335.

einseitig abkühlt, wodurch namentlich beim Gufseisen leicht ein Bersten herbeigeführt werden kann. Im Ganzen geht aus diesen Betrachtungen hervor, dafs zwar allerdings die Dampfmaschinen Gefahr drohen, die jedoch durch sorgfältige Beachtung leicht vermeidlich wird, weswegen aber nöthig ist, bei ihnen aufmerksame und besonnene Aufseher anzustellen, wie schon Watt dringend anempfahl, obgleich sie dieses so wenig zu bedürfen und ohne äufsere Einmischung ihren regelmäfsigen Gang durch sich selbst fortzusetzen scheinen.

Es giebt noch weitere Untersuchungen dieser nämlichen Aufgabe, z. B. von Hebert[1]; man darf aber annehmen, dafs sie wenig oder gar nichts Neues enthalten, da die Aufgabe durch Arago mit genügender Vollständigkeit abgehandelt worden ist.

565) Eine für die praktische Anwendung der Dampfmaschinen sehr wichtige Frage betrifft das Verhältnifs des zur Erzeugung einer gegebenen Quantität Dampfes erforderlichen Aufwandes von *Brennmaterial.* Es giebt hierüber *theoretische Bestimmungen*, wenn man die aus Erfahrungen gefundene Menge der durch das Verbrennen der verschiedenen Combustibilien erzeugten Wärme (§. 168) zum Grunde legt und hiernach die Quantität des Dampfes berechnet, welcher durch ein gegebenes Brennmaterial gebildet wird. Zwar sind die hiernach berechneten Gröfsen sehr abweichend und obendrein in unbestimmbaren Verhältnissen verschieden von den Resultaten im Grofsen, weil die mitwirkenden Bedingungen sich nicht wohl scharf angeben lassen. Aufser den hierüber allgemein bekannten Erfahrungen will ich mich nur auf Dufour[2] berufen, welcher unbedenklich den Satz ausspricht, dafs die theoretischen Bestimmungen der Dampfmengen von den in der Praxis vorkommenden bedeutend abweichen, und auf eine Aeufserung Arago's[3], wonach die zu dick auf dem Roste aufgehäuften Kohlen mit grofsem Verluste ihrer Heizkraft eine leicht gefährlich werdende Menge entzündlicher Gase erzeugen. Inzwischen ist es nicht überflüssig, für einen, wenn auch nur genähert richti-

---

1 Dingler polytechn. Journ. Bd. XXXIX. S. 88. In dieser Zeitschrift findet man überhaupt alles das sehr vollständig gesammelt, was über Dampfmaschinen verhandelt worden ist; es würde aber zu weitläuftig seyn, alle Abhandlungen einzeln aufzuzählen.

2 Bibliothèque univ. T. XXXIV. p. 148.

3 A. a. O. am Ende der Abhandl.

gen, Anhaltpunct die hierüber bestehenden Bestimmungen zu kennen. Diese sind daher oben[1] mitgetheilt worden. Weil aber dabei eine falsche Gröfse zum Grunde lag, so sind auch die hieraus abgeleiteten Werthe unrichtig geworden, und ich gebe daher hier die richtigen. Es liefert 1 Kub. Fufs Steinkohlen von 1,45 spec. Gewicht gegen Wasser als Einheit, oder nahe ein Centner, 23652 Kub. Fufs Wasserdampf von der Elasticität der atmosphärischen Luft; 1 Kubikfufs Holzkohlen von 0,25 spec. Gewicht, also etwa 18 Pfund, liefert 4080 Kubikfufs; 1 Kubikfufs Holz von 0,665 spec. Gewicht, also 47,5 Pfund, giebt 5100 Kubikfufs. Ueber den Torf läfst sich nicht wohl etwas Bestimmtes angeben, weil seine Güte so ausnehmend ungleich ist. Nach Partington soll der Erfahrung gemäfs 1 Pfund Steinkohlen statt 10 Pfund Wasser nur 7 Pfund in Dampf verwandeln. Werden hiernach die obigen Gröfsen in diesem Verhältnifs reducirt, so giebt 1 Kubikfufs Steinkohlen 16556 Kubikfufs Dampf; 1 K. F. Holzkohlen 2856 Kubikfufs und 1 K. F. Holz 3570 Kubikfufs Dampf von der Elasticität der atmosphärischen Luft.

566) Als bewegende Kraft hat man den Dampf, aufser bei Dampfmaschinen, auch zum Fortschleudern der Geschützkugeln zu benutzen versucht, und eigene *Dampfkanonen* verfertigt. Dasjenige, was hierüber in einem eigenen Artikel bereits[2] mitgetheilt worden ist, bezieht sich hauptsächlich auf das, was Perkins[3] hierin zu leisten versucht hat; das Urtheil fiel aber im Ganzen dahin aus, dafs dieses Mittel keinen bedeutenden Gewinn verspreche. Berücksichtigen wir die seitdem bekannt gewordenen Resultate der französischen Akademiker (§. 534), welche die Elasticität des Dampfes nur bis zu 24 Atmosphären zu treiben vermochten, weil die Liederungen der Gefäfse nicht weiter aushielten, und vergleichen wir damit die Elasticität des glühenden Schiefspulvergases, die zwar nicht leicht genau bestimmbar ist, nach Berzelius[4] aber bei 2,5 Pfund entzündeten Schiefspulvers 2087, bei 2 Pfund aber 2311 Atmosphären betragen soll, so ist

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 480.

2 S. Art. *Dampfkanone*. Bd. II. S. 410.

3 Vergl. Dingler polyt. Journ. Th. XIX. S. 103. Th. XX. S. 105 u. 223.

4 Dessen Jahresbericht. Th. VIII. S. 63.

dadurch wohl ohne Widerrede das ausgesprochene Urtheil gerechtfertigt, wonach der Dampf niemals bei praktischer Anwendung eine gleiche Gewalt ausüben und gleiche oder auch nur entfernt nahe kommende Leistungen gewähren kann. Wir dürfen auch annehmen, dafs dieses durch die Erfahrung bestätigt ist; denn wenn der Dampf wirklich das leisten könnte, was von ihm versprochen wurde, so hätte man in den vielen seitdem verflossenen Jahren längst Anwendung davon gemacht. Durch Privatmittheilungen ist mir bekannt geworden, dafs auch in den österreichischen Staaten ein Künstler eine solche Kanone verfertigte, welche auf gleiche Weise, als die späteren von Perkins, mit einem Magazine versehen war, aus welchem an die Stelle der eben fortgeschleuderten Kugel sofort eine andere trat, wonach also zwar viele Kugeln schnell hinter einander abgeschossen wurden, allein die eigentliche Schwierigkeit der Aufgabe liegt darin, Dampf von hinlänglicher Elasticität überhaupt und insbesondere so zu bereiten, dafs die Wandungen der Gefäfse bei der nothwenig gesteigerten Hitze hinlänglichen Widerstand leisten, was nach dem jüngsten Beispiele des Zerplatzens von Thilorier's Apparate (§. 470) nicht ohne Gefahr versucht werden kann.

Unterdefs ist dieses Problem einer gründlichen Untersuchung durch Prechtl [1] unterworfen worden. Dieser berechnet aus den Bestandtheilen des Schiefspulvers, dafs die daraus entwickelten Gase bei 0° C. einen 416,6fachen Raum einnehmen [2], und wenn dann die Menge Wärme, welche durch das Verbrennen der Kohle entsteht, und zugleich die specifische Wärme der erzeugten Gase zum Grunde gelegt wird, so würden die letztern auf eine Temperatur von 8984° C. gebracht werden, was nach Prechtl beiläufig die Weifsglühhitze einer Schmiedeesse seyn soll. Durch diese exorbitante Hitze würde dann das Gas auf 14490 Atmosphären Druck gebracht werden; allein hierbei ist die Wärmeentziehung durch die Wandungen nicht in Abzug gebracht worden, verbrennendes Schiefspulver zeigt keine Weifsglühhitze, ungefähr nur helles Kirschrothglühen, und diesem gehören nach Pouillet (§. 165) nur etwa 1000° C. zu. Wenn wir also hiernach das wirkliche Glühen des Schiefspulvergases

---

1 Jahrbücher des Wiener polyt. Instituts Bd. IX. S. 1.

2 Vergl. Art. *Schiefspulver*. Bd. IX. S. 524.

bei seiner Explosion schätzen und demnach etwa auf ein Siebentel herabsetzen, so würde dieses der eben mitgetheilten Bestimmung von Berzelius sehr nahe kommen. Den Einfluſs des im Schieſspulver enthaltenen Wassers sucht Prechtl gleichfalls zu bestimmen, gelangt aber zu dem Resultate, daſs wegen Verzögerung des Verbrennens die Kraft des Schieſspulvers hierdurch auf keine Weise vermehrt wird, indem bei wachsender Menge desselben eine zunehmend gröſsere Quantität Wärme zu seiner Verwandlung in Dampf erforderlich ist, so daſs hieraus selbst eine Schwächung der statt findenden Kraft hervorgeht. Erfahrungen mit eigentlich feuchtem Schieſspulver bestätigen dieses vollkommen. Die Verminderung der Wärme durch die Wandungen wächst auſserdem um so mehr, je langsamer das Verbrennen des Schieſspulvers erfolgt, und muſs schon deswegen sehr bedeutend seyn, weil die Gröſse der Oberfläche, an welche sie im Innern des Geschützes übergeht, durch die allmälige Ausbreitung des Pulvergases stets zunimmt, weswegen die gröſste Kraft im ersten Momente der Entzündung statt findet und der Schnelligkeit, womit diese erfolgt, proportional ist[1]. Hierzu nimmt Prechtl noch den Verlust, welcher durch den sogenannten Spielraum erzeugt wird[2] und nach Hutton's Erfahrungen im Minimum $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$, im Maximum aber $\frac{1}{2}$ betragen soll, und gelangt sonach zu dem Resultate, daſs die Elasticität des Pulvergases 1700 bis 2300 Atmosphären in der Wirklichkeit betrage. Wird hiervon eine Anwendung auf den Wasserdampf als bewegendes Mittel gemacht, so müſste derselbe, um

---

1 Es möge hier in Beziehung auf das ballistische Problem bemerkt werden, daſs zwar aus der allmäligen Ausbreitung des Pulvergases in Folge des hiermit verbundenen Wärmeverlustes eine Verminderung der Wurfkraft nothwendig hervorgeht, von der andern Seite aber ein groſser Vortheil aus dem Umstande erwächst, daſs auf die im ersten verschwindend kleinen Zeitmomente langsamer bewegte Kugel das zunehmend sich expandirende Gas fortdauernd wirkt und dadurch die erzeugte Geschwindigkeit stets zunimmt. Bei instantaner Entwickelung des Pulvergases, wenn diese überhaupt möglich wäre, würde die Trägheit der Kugel eine unüberwindliche Reaction ausüben. Hierin liegt die Ursache, weswegen die Knallsalze, ungeachtet ihrer momentanen Explosion, die Kugeln bei weitem nicht so weit fortzuschleudern vermögen, als das Schieſspulver. Vergl. Art. *Ballistik*. Bd. I. S. 702.

2 Der nicht unbedeutende Verlust durch das Zündloch ist nicht besonders erwähnt worden, versteht sich aber von selbst.

eine gleiche Kraft als das Pulvergas auszuüben, auch eine gleiche Spannung, also im Mittel eine von etwa 2000 Atmosphären haben. Hierzu würde aber eine Wärme von 856°,25 C. gehören, und wollte man auch nur bis 1000 Atmosphären gehen, so würde dieses doch noch 662°,5 Hitze erfordern, also immer eine solche, wobei das Metall glühet, mithin eine solche Verminderung seiner Cohäsion erleidet, daſs es dem erforderlichen Drucke durchaus nicht widerstehen kann. Prechtl setzt daher 100 Atmosphären als die gröſste erreichbare Elasticität des Wasserdampfes und rechnet jede höhere Steigerung zu den mechanischen Chimären; nach den neuesten französischen Versuchen dürfte, wie schon bemerkt, diese Grenze noch tiefer herabzurücken seyn. Ohne den ausführlichen Calcül hier wiederzugeben, wird es genügen, nur die Resultate herzusetzen. Wenn man voraussetzt, daſs der Dampf mit seiner ganzen Kraft so lange auf die Kugel wirkt, bis sie die Mündung des Rohres verläſst, und nicht mit abnehmender Kraft, wie dieses beim Schieſspulvergas der Fall ist, so würde eine Spannung von 59,2 Atmosphären erfordert werden, um der Kugel eine Geschwindigkeit von 1200 Fuſs in der ersten Secunde zu ertheilen; allein die hierzu erforderlichen Bedingungen sind nicht wirklich vorhanden, denn obgleich der Dampf während seiner Ausdehnung aus dem Apparate nachströmt, so entweicht doch ein Theil neben der Kugel, und zum Ersatz des entweichenden würde die Bildung von neuem durch zuströmende Hitze erfordert werden, die in so kurzer Zeit nicht statt finden kann. Nach den mitgetheilten Nachrichten soll der bei Perkins's Versuchen verwandte Dampf wirklich eine Spannung von 60 Atmosphären gehabt haben. Prechtl nimmt es als durch Perkins erwiesen an, daſs ein Dampfapparat für einen Druck von 60 Atmosphären hergestellt werden könne, und das schnelle Einbringen der Kugeln, so daſs deren wohl 120 in einer Minute abgeschossen werden können, würde sich gleichfalls bewerkstelligen lassen, allein die Unbehülflichkeit der Maschine, deren Dampfapparat allein 20 Centner wiegt, das vorausgehende Heizen u. s. w. machen sie zum Feldgebrauche nicht geeignet, doch dürfte sie auf Schiffen anwendbar seyn. Bessere Dienste, meint Prechtl, könnten guſseiserne, mit einem gemeinschaftlichen Behälter communicirende, Röhren leisten, aus denen Kugeln durch die in dem Behälter mittelst einer Dampfmaschine

comprimirte Luft geschossen würden; allein Gufseisen würde auf jeden Fall wohl ohne Ausnahme zu porös und rissig seyn, wie unter anderem auch die französischen Akademiker bei ihren Versuchen (§. 534) wahrnahmen, das luftdichte Schliefsen so complicirter Apparate müfste grofsen Schwierigkeiten unterliegen, ihre Wirkung bliebe stets hinter der der Feuerwaffen zurück, und für ihren untergeordneten Effect würden sie zu viel Raum und ihre Bedienung zu viele Zeit erfordern; Gründe genug, warum man sie nicht praktisch eingeführt hat. Die Berechnungen, welche Prechtl für gröfsere Geschütze anstellt, wonach namentlich eine einpfündige Kanone für acht Schüsse in einer Minute, den unvermeidlichen Verlust mitgerechnet, 5,14 Kubikfufs Dampf in einer Secunde erzeugen müfste, die eine dem Feuer ausgesetzte Fläche von 100 Quadratfufs erfordern, zeigen evident, dafs jede Anwendung des Dampfes als ballistisches Mittel im Grofsen für den Felddienst unter die chimärischen Projecte gehört und auch in den Festungen dem Schiefspulver weit nachsteht.

Ueber die praktische Anwendung der mittelst einer Dampfmaschine comprimirten Luft zum Fortschleudern von Geschützkugeln urtheilt Prechtl selbst, dafs ihr unübersteigliche Hindernisse entgegenstehn. Sie liegen hauptsächlich in der Unmöglichkeit, so sehr complicirte Maschinen durchaus luftdicht für eine hierzu erforderliche Compression herzustellen und das Entweichen der Luft neben den Stempeln der Compressionspumpen zu verhüten, wenn man deren Reibung nicht übermäfsig vergröfsern will. Es dürfte hiernach überflüssig seyn, auf die stets wieder erneuerten Vorschläge dieser Art Aufmerksamkeit zu verwenden, da die Hindernisse in der Unausführbarkeit der Hauptbedingungen liegen, wie sinnreich auch sonst ihre Construction seyn mag. Letzteres ist allerdings der Fall bei einem Apparate dieser Art, welchen W. J. Curtis[1] für Schiffe und Festungen, namentlich zur Vertheidigung der Breschen, vorgeschlagen hat. Das Anlockende liegt in der Menge von Kugeln, die in einer kurzen Zeit vermöge des angebrachten Magazins nach Art der tyroler *Windbüchsen*[2] abgeschossen werden können, wobei man aber die Unbehülflichkeit und Unsicherheit der hierzu erforderlichen Maschinen übersieht, und

1 Repertory of Patent-Inventions. T. V. Nr. 28. Jahrbücher des polyt. Instit. T. XIII. p. 289.

2 Vergl. Art. *Windbüchse*.

nicht genugsam die Menge der Kartätschenkugeln würdigt, die weit bequemer gleichfalls in kurzer Zeit zu Gebote stehn, wonach aber, wenn es blofs hierauf ankäme, bei dem seit vielen Jahren statt gefundenen Gebrauche derselben sicher niemals eine Festung mit Sturm erobert worden wäre.

567) Dampfmaschinen sind in neueren Zeiten vorzugsweise zur Bewegung der in unermefslicher Zahl vorhandenen grofsen und kleinen Dampfschiffe und Dampfboote angewandt worden. Sie dienen zum Umdrehn der Räder, die durch die Reaction ihrer Schaufeln gegen das Wasser die Schiffe fortstofsen, oder der Schrauben, die sich durch ihre Umdrehung in das Wasser hineindrängen und die Schiffe mit sich fortreifsen, oder zum Treiben derjenigen Maschinen, welche vermöge der stets fortschreitenden Technik vermuthlich in diesem Augenblicke schon erfunden worden sind oder im Verlaufe der Zeit noch erfunden werden und nach vorgängiger Prüfung demnächst zur Anwendung kommen werden. Hierüber ins Einzelne einzugehn würde zu weit führen, und ich beschränke mich daher darauf, in dieser Beziehung auf eine Abhandlung des gelehrten und erfahrenen Barlow[1] zu verweisen, welcher die Geschwindigkeit der Dampfboote je nach ihrer Gröfse, der Kraft ihrer Maschinen und den Bedingungen, ob sie mit der Fluth oder gegen dieselbe sich bewegen, sowohl durch Berechnung, als auch nach Versuchen zu ermitteln sich bestrebt hat. Die *Locomotiven* und deren Gebrauch auf Eisenbahnen, die jetzt allgemein in Anwendung kommen, übergehe ich ganz und bemerke nur deren bekannte gröfste Geschwindigkeit. Eine derselben, der Planet, fuhr leer von Liverpool nach Manchester, 30 engl. Meilen, in 45 Minuten. Rechnen wir die engl. Meile zu 1760 Yards, den Yard zu 3 engl. Fufs, so giebt dieses eine Geschwindigkeit von 55,07 Par. Fufs in einer Secunde. Die Locomotive Snelheid fuhr zu Amsterdam leer 2000 Ellen in 86 Secunden. Wird die Elle zu 306 Par. Linien gerechnet, so giebt dieses 49,42 Par. Fufs in einer Secunde. Eine sehr schöne neue Locomotive war zum Probiren der Maschine in die Höhe gehoben worden und die Maschine bewirkte daher blofs die Umdrehung der Räder. Indem ich die Zahl der Umdrehungen zählte, und die Gröfse der Peripherie

1 Philosoph. Trans. 1834. p. 309. Vergl. eine andere Abhandlung in Dingler's polyt. Journ. Th. XXXII. S. 331.

mafs, ergab sich die Geschwindigkeit eines Punctes der Peripherie sehr nahe 72 Par. Fufs in einer Secunde. Hiernach ist wohl das Maximum der überhaupt möglichen Geschwindigkeit und aus diesen drei Bestimmungen ein Anhaltepunct gegeben, welcher die Geschwindigkeit zu schätzen und mit andern zu vergleichen gestattet[1]. Blofs beiläufig möge hier noch erwähnt werden, dafs man auch gewöhnliche Wagen auf sehr ebenen Strafsen durch Dampfmaschinen zu bewegen gesucht hat, wie dieses namentlich durch Burstall und Hill mit ihrer sogenannten Dampfkutsche geschah, auf deren Erfindung sie ein Patent nahmen[2]. Endlich hat man den Wasserdampf von höherer Temperatur und das am Verdampfen gehinderte, folglich über den Siedepunct erhitzte Wasser, ebenso wie die Dämpfe anderer Flüssigkeiten und diese letzteren selbst, als stark auflösende Mittel in Anwendung gebracht, zu welchem Ende man sich der *Digestoren* bedient. Zu dem, was hierüber gesagt worden ist[3], kann ich nichts Wesentliches weiter hinzusetzen; am wichtigsten dabei ist der dampfdichte Verschlufs, welcher durch etwas mit Unschlitt geschmeidig gemachten Hanf oder Leinenfäden bis zur Verkohlungshitze dieser Substanzen am besten erreicht wird. Verlangt man noch stärkere Hitze, so wüfste ich kein anderes Mittel, als Blei, und wollte man über den Schmelzpunct dieses Metalles hinausgehn, so würde man sich des Goldes bedienen müssen, dessen Kostbarkeit jedoch eine Anwendung nur zu sehr wichtigen Zwecken gestatten dürfte. Im Uebrigen sind verschiedene Constructionen der Digestoren angegeben worden, dle jedoch für die jedesmaligen Zwecke sich leicht finden lassen, sobald die Hauptprincipien einmal feststehn[4].

### 4) Gasbildung; Gasification.

568) Bei weitem die meisten Schriftsteller gestatten keinen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen, bezeichnen beide durch den Namen *Gas*, und diejenigen scheinen sich von der fast allgemein angenommenen Ansicht zu entfernen, die einen Unterschied zwuschen beiden annehmen. Wäre diese Mei-

---

1 Vergl. Art. *Geschwindigkeit.* Bd. IV. S. 1351.

2 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVI. p. 349.

3 S. Art. *Digestor.* Bd. II. S. 544.

4 Vergl. Jahrbücher des polytechn. Instituts. Th. XI. S. 316. Th. XV. S. 205. Laboratorium. Hft. XXXVI.

mung unwidersprechlich und so fest begründet, dafs kein Zweifel dagegen statt finden könnte, so dürfte auch neben der Untersuchung der Dampfbildung nicht zugleich von der Gasification die Rede seyn, beide wären vielmehr als identisch zu betrachten, und wir müfsten annehmen, dafs die Gase auf gleiche Weise durch Auflösung tropfbarer Flüssigkeiten in Wärme erzeugt würden, als dieses bei den Dämpfen der Fall ist. Die grofse Aehnlichkeit beider Arten von Körpern und die unzweifelhafte Thatsache, dafs verschiedene Gase durch Verminderung der Temperatur oder Vermehrung des Druckes in tropfbare Flüssigkeiten verwandelt werden, spricht sehr zu Gunsten dieser Ansicht, und nach der Vorstellung, die wir uns, anerkannten Thatsachen gemäfs, von der Wirksamkeit des Wärmestoffes machen müssen, können wir nicht wohl umhin, die Expansion sowohl der Gase, als auch der Dämpfe von der Wärme abzuleiten, wodurch also jeder wesentliche Unterschied zwischen ihnen aufgehoben scheint. Allein aufser dem, was hierüber bereits gesagt worden ist[1], führt eben die Erzeugung mancher Gase, verglichen mit der der Dämpfe, zu einem Unterschiede beider, den man ehemals nicht unangemessen dadurch bezeichnete, dafs man die Gase für eine innigere, auch eine chemische genannte, Verbindung der Körpermolecüle mit dem Wärmestoffe ansah, als die Dämpfe. Wenn z. B. Sauerstoffgas durch Glühen aus Braunstein ausgetrieben wird, so liegt es sehr nahe bei der Sache, anzunehmen, dafs die hierzu verwandte Wärme den Molecülen des Sauerstoffs auf gleiche Weise Expansion mittheile, als dieses bei der Erzeugung des Dampfes aus Wasser der Fall ist; allein für absolut ausgemacht kann dieses nicht gelten, denn die Wärme könnte auch auf gleiche Weise die Verbindung des Sauerstoffgasses mit dem Magnesium blofs aufheben und eine Trennung beider auf gleiche Weise bewirken, als dieses bei der durch verschiedene Körper absorbirten Luft geschieht, ohne dasselbe aus einer Flüssigkeit, wie bei der Dampfbildung, ganz eigentlich zu erzeugen. Sofern also das Sauerstoffgas noch nicht tropfbar-flüssig dargestellt ist, kann auch nicht als ausgemacht gelten, dafs es ursprünglich einer tropfbaren Flüssigkeit zugehöre und durch Erhöhung der Temperatur über dem unbekannte Siedepuncte derselben genau auf gleiche Weise, als

---

1 Vergl. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 282.

dieses bei dem Dämpfen der Fall ist, gebildet werde. Dennoch aber läfst sich auch kein wesentlicher Unterschied beider auf diese Thatsache gründen; denn auch das kohlensaure Gas wird durch Hitze aus kohlensauren Salzen geschieden und läfst sich dennoch durch vermehrten Druck tropfbar-flüssig darstellen.

569) Von der andern Seite betrachtet bieten sich allerdings Unterschiede dar, die der scharfsinnige Forscher nicht übersehn kann. Zuerst zeigen die eigentlichen Dämpfe überall, von den dünnsten, z. B. des Quecksilbers, bis zu den dichtesten, z. B. des Aethers, des Schwefelkohlenstoffs u. s. w., ein gewisses Verhältnifs zwischen den Temperaturen und den Dichtigkeiten sowohl, als auch den Elasticitäten, welches anderen Gesetzen folgt, als diejenigen sind, die sich bei den Gasen zeigen. Werden die Dämpfe comprimirt, so scheidet sich ein Theil tropfbar-flüssig aus, ohne dafs Elasticität und Dichtigkeit bei gleichbleibender Temperatur eine Aenderung erleiden, was bei den Gasen nie der Fall ist. Man könnte sagen, dieses beruhe blofs auf dem Umstande, dafs wir die permanenten Gase nicht im Zustande ihrer Sättigung kennen und sie also für Dämpfe halten müfsten, die in allen uns zu Gebote stehenden Temperaturen durch Wärme bereits über diesen Punct der Sättigung hinausgerückt seyen; allein so lange wir diesen Zustand der Sättigung oder das Maximum ihrer Dichtigkeit nicht kennen, läfst sich auch nicht mit Gewifsheit behaupten, dafs derselbe vorhanden sey, wenn sich auch immerhin Wahrscheinlichkeitsgründe dafür beibringen lassen. Allerdings sind bereits einige sogenannte permanente Gase durch verstärkten Druck tropfbar-flüssig gemacht worden, allein diese Versuche sind noch nicht genügend zahlreich, und zugleich hat man das Verhalten, welches die so gebildeten Flüssigkeiten zeigen, wegen der dabei obwaltenden Schwierigkeiten noch nicht genugsam geprüft, um mit Sicherheit zu entscheiden, ob dasselbe ganz demjenigen gleich ist, welches wir bei den unter gewöhnlichem Drucke tropfbaren Flüssigkeiten gewahren; vielmehr scheinen sich allerdings hierbei Unterschiede herauszustellen, die jedoch gleichfalls bei weitem noch nicht genügend constatirt sind. Beispielsweise führe ich nur diejenigen Erscheinungen an, welche THILORIER[1] bei der flüssigen Kohlensäure wahrnahm, wenn auch

1 L'Institut 1835. N. 126. p. 357. N. 127. p. 331. Poggendorff's Ann. XXXVI. 141. Vergl. §. 470.

diese Angaben sich nicht mit absoluter Sicherheit verbürgen lassen. Merkwürdig ist schon der Umstand, dafs die flüssige Kohlensäure durch Wärme stärker, als das Gas, ausgedehnt werden soll. Wäre dieses bei allen denjenigen Flüssigkeiten der Fall, aus denen Gase entstehn, so würden diese und demnach mittelbar auch die aus ihnen entstandenen expansiblen Flüssigkeiten sich von denen wesentlich unterscheiden, die sich durch Wärme in Dämpfe verwandeln; jedoch ist ein ähnliches Verhalten bei der schwefligen Säure bis jetzt wenigstens nicht beobachtet worden. Merkwürdig ist ferner die für zunehmende Temperaturen so enorm wachsende Dichtigkeit der über der flüssigen in Dampfform sich befindenden Kohlensäure, denn bei 0° C. beträgt das Volumen, welches einen gegebenen Raum erfüllt, $\frac{1}{12}$ desselben, bei 30° C. aber $\frac{1}{3}$, so dafs also ihre Dichtigkeit durch eine Temperaturerhöhung von 30° C. um das Vierfache wächst, und auf gleiche Weise nimmt auch ihre Elasticität zwischen 0° bis 30° C. von 36 bis 73 Atmosphären zu. Allerdings läfst sich hiergegen sagen, dafs die Kohlensäure, um als Dampf aus der Flüssigkeit gebildet zu werden, schon eines sehr starken Druckes bedarf, und wirklich bedarf auch der Wasserdampf nach einer genäherten Berechnung nur etwa 60° C. Temperaturerhöhung, um im Zustande der Sättigung von der zu 30 Atmosphären gehörigen Elasticität bis zu 73 Atmosphären zu wachsen. Immerhin aber bleibt das Verhalten der festen Kohlensäure ein eigenthümliches, sofern sie, unter atmosphärischem Drucke im festen Zustande existirend, durch Wärmezuflufs von aufsen nicht tropfbarflüssig und dann in Dampf verwandelt wird, sondern unmittelbar zur Expansion übergeht. Dürfen wir annehmen, dafs die Temperatur der festen Kohlensäure durch ihre eigene Verdampfung = — 100° C. ist, so müfste sie nach der Analogie anderer Flüssigkeiten bei unverändertem Drucke einen höher liegenden Schmelzpunct und einen noch höher liegenden Siedepunct haben; allein nach Parry (§. 507) zeigte sich weder das Eine noch das Andere bei einer Temperatur von — 45° C., dennoch aber gewahrte er in dieser Kälte einige weifse Flocken, die wohl nur feste Säure seyn konnten. Unverkennbar merkwürdig sind allerdings die Erscheinungen, welche die Kohlensäure in ihrem dreifachen Aggregatzustande darbietet, namentlich insofern sie hierbei von ungleicher Wärme ist, und mit

tropfbaren Flüssigkeiten vereint zur Expansion übergeht. Verdienen MITCHELL'S[1] Versuche volles Vertrauen, so brachte flüssige Kohlensäure beim Festwerden die Temperatur auf — 65° C.; würde aber dem Wasserdampfe oder dem Dampfe irgend einer sonstigen Flüssigkeit unter einem Drucke von etwa 60 Atmosphären plötzlich freie Expansion gestattet, so würde sicher die vorhandene tropfbare Flüssigkeit hierdurch nicht in Eis verwandelt werden. Die gröſste, durch die Bildung des kohlensauren Gases aus der festen Kohlensäure an freier Luft erzeugte Kälte ging bis — 78° C., und selbst dann, wenn die Verflüchtigung durch Einwickeln in Baumwolle bedeutend verzögert wird, findet kein Uebergang zum Flüssigkeitszustande statt. Wird die Verdampfung der festen Kohlensäure durch Wegnahme der Luft unter der Luftpumpe gesteigert, so geht bei einer äuſeren Temperatur von 30° C. die Kälte bis — 93°,5 herab. Feste Kohlensäure mit Alkohol erzeugte eine Kälte von — 76° C., durch Gegenblasen erhöht ging sie bis — 79° und unter der Luftpumpe bis — 92°,25, mit Aether aber unter der Luftpumpe bis — 99° C. herab, mithin noch tiefer, als durch eigene Expansion für sich allein. Das Verhalten anderer, durch hohen Druck tropfbar gemachter Gase ist entweder gar nicht oder noch keineswegs genügend untersucht worden, und wir wissen nicht, welche Unterschiede ihres Verhaltens gegen das anderer Dämpfe sich hierbei zeigen könnten. Dagegen kennen wir noch einen Körper, welcher weit auffallender, als die Kohlensäure, aus dem Zustande der Starrheit unmittelbar und mit Ueberspringung des tropfbar-flüssigen Zustandes in den der Gasform übergeht, nämlich den Salmiak, welcher, unter gewöhnlichem Drucke und selbst im Vacuum fest, durch Hitze in Gas verwandelt wird, ohne eine Zersetzung zu erleiden. So viel ich weiſs, hat man noch nicht versucht, dieses Gas durch starke Compression oder hohe Kältegrade tropfbar-flüssig zu machen, möglich ist es aber, daſs es sich hierbei ebenso, als die Kohlensäure, verhalten würde. Wäre aber das Verhalten aller Gase und Dämpfe vollkommen identisch, so müſsten wir Eis, feste Kohlensäure und Salmiak in Parallele setzen können, alle drei müſsten durch Temperaturerhöhung, wenn auch durch ungleiche, tropfbar-flüssig und dann expansibel werden; allein ein solcher

1 Silliman Amer. Journ. T. XXX. p. 352.

vollständiger Parallelismus ist nach meiner Ansicht nicht wirklich vorhanden, und so lange dieser fehlt, ist ein Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen nicht gänzlich in Abrede zu stellen. Immerhin ist vielmehr das Verhalten der Gase, die eines höheren Druckes zum Uebergange in den Flüssigkeitszustand bedürfen, ein anderes, als das der Dämpfe, die schon unter gewöhnlichem Drucke in diesen Zustand übergehn.

Es giebt jedoch Gase, die unter gewöhnlichem Drucke und bei mittleren Temperaturen als permanent elastisch erscheinen, dennoch aber durch bloſse Anwendung hoher Kältegrade den normalen Uebergang zur Tropfbarkeit zeigen, und deren Elasticität dann ganz nach Art der Dämpfe mit steigender Wärme zunimmt. Auſser dem, was hierüber (oben §. 507) bereits mitgetheilt worden ist, verdienen hauptsächlich noch diejenigen Resultate beachtet zu werden, welche Bunsen[1] aus seinen neuerdings angestellten Versuchen erhalten hat. Dieser brachte in ein Glasrohr ein Manometer, zog das Rohr in zwei feine Spitzen an beiden Enden aus, legte es in einen Trog mit Kältemischung, wodurch er die Temperatur bis — 50° C. herabbrachte, füllte dasselbe mit dem ausgetrockneten Gase, welches sich darin bis zur tropfbaren Flüssigkeit verdichtete, schmolz die Spitzen des Rohres zu und maſs die der steigenden Wärme zugehörige Elasticität mittelst des Manometers. Nur mit vier Gasen gelang ihm dieses Verfahren, und sie gaben die in folgender Tabelle enthaltenen Resultate, wobei die Elasticitäten in Metern angegeben sind, also 0,76 Meter den Siedepunct bezeichnen.

1 Poggendorff's Ann. XLVI. 97.

| Temperatur | Elasticitäten. Schweflige Säure | Cyan | Ammoniak |
|---|---|---|---|
| — 33°,7 C. | . . . . . | . . . . . | 0,749 Met. |
| — 30 | . . . . . | . . . . . | . . . . . |
| — 25 | . . . . . | . . . . . | . . . . . |
| — 20 | . . . . . | 0,80 Met. | . . . . . |
| — 15 | . . . . . | 1,10 — | . . . . . |
| — 10 | 0,78 Met. | 1,41 — | . . . . . |
| — 5 | 1,11 — | 1,73 — | 3,04 — |
| 0 | 1,48 — | 2,07 — | 3,61 — |
| + 5 | 1,91 — | 2,44 — | 4,26 — |
| + 10 | 2,39 — | 2,88 — | 4,98 — |
| + 15 | 2,93 — | 3,33 — | 5,78 — |
| + 20 | 3,54 — | 3,80 — | 6,67 — |
| + 25 | 4,20 — | . . . . . | . . . . . |

Auch die Elasticität des kohlensauren Gases über dem liquiden ist durch Mitchell[1] gemessen worden, ohne dafs ich jedoch anzugeben vermag, welches Vertrauen diese Versuche verdienen. Hiernach ist dieselbe bei 0° C. = 32 Atmosphären, bei 7°,22 = 45, bei 18°,89 = 60, bei 30° C. = 72 Atmosphären.

Mögen wir uns hiernach für berechtigt halten, die sogenannten permanenten Gase als identisch mit den Dämpfen zu betrachten oder einen Unterschied zwischen beiden anzunehmen, immerhin ist mindestens im höchsten Grade wahrscheinlich, dafs beide ihren Expansionszustand durch die Wärme erhalten und diese demnach als Ursache desselben gelten kann. Kommt es aber auf die Beantwortung der Frage an, auf welche Weise die Wärme den Expansionszustand herbeiführe und wie sich dieselbe dem Wesen nach hierbei verhalte, so ist darüber bereits das Erforderliche gesagt worden[2], und die Hypothesen, welche Herapath[3] in dieser Beziehung aufstellt, dürften zu wenig Befriedigung gewähren, um genauer erörtert zu werden.

---

1 Silliman Amer. Journ. T. XXXV. p. 354.

2 S. Art. *Gas*, *Wesen der Gasform.* Bd. IV. S. 1048 ff.

3 Annals of Philos. New Ser. N. I bis IV. p. 197. Vergl. 1826. Dec. p. 466.

## 5) Chemische Wirkungen der Wärme.

570) In einem eigenen Abschnitte war oben (§. 117) von der Wärmeerzeugung durch Chemismus ausführlich die Rede. Aus den dort angeführten Thatsachen geht hervor, dafs durch chemische Verbindungen, die nicht mit den kälteerzeugenden Lösungen zu verwechseln sind, bei gleichzeitig statt findender Verdichtung, selbst aber auch Verdünnung, Wärme frei wird, woraus der innige Zusammenhang zwischen dem Chemismus und der Wärme hervorgeht. Hierbei ist aber die Wärme das Erzeugte, das Hervorgerufene; hier dagegen, wo von den Wirkungen der Wärme die Rede ist, mufs diese die Ursache seyn, welche chemische Verbindungen erzeugt. Auch hiervon war zuweilen beiläufig die Rede, und es ist allzubekannt, wie oft die Chemiker von Verbindungen reden, die nur bei gewissen höheren Temperaturen oder, wie es heifst, in der Hitze erzeugt werden. Da diese aber zunächst in das Gebiet der Chemie gehören, es überhaupt zu weit führen würde, alle die Fälle aufzuzählen, in denen die Trennungen und Verbindungen der Körper durch Wärme möglich gemacht und erleichtert werden, hier überhaupt nur von der Aufstellung der allgemeinen physikalischen Gesetze die Rede seyn kann, so wird es genügen, blofs beispielsweise zu erwähnen, wie unter anderem das Eisen nur durch die Glühhitze vermocht wird, sich mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft zu verbinden, das Wasser zu zerlegen, den Schwefel im Zinnober vom Quecksilber zu trennen u. s. w., wegen des Ganzen aber dahin zu verweisen, wo diese Aufgabe bereits genügend untersucht worden ist[1].

Die *Erzeugung des Lichtes durch Wärme* in den glühenden Körpern oder die Erregung der Lichtwellen wollen wir nicht in einem eigenen Abschnitte aufführen, da man gewohnt ist, die Strahlen der leuchtenden Wärme mit den Lichtstrahlen als identisch oder genau zusammenfallend zu betrachten, und über das Verhältnifs zwischen Licht und Wärme oben in den Abschnitten, worin der Ursprung der Wärme und ihr Verhalten erörtert wurden, ausführlich gehandelt worden ist.

---

1 S. Art. *Verwandtschaft.* Bd. IX. S. 1869 u. 2023.

### 6) Erhaltung und Beförderung des vegetabilischen und animalischen Lebensprocesses.

571) Wie durch den Chemismus Wärme erzeugt und umgekehrt chemische Verbindungen durch Wärme bedingt werden, ebenso ist dieses auch in Beziehung auf den Lebensprocefs der Fall. Wollen wir da, wo es sich um allbekannte Dinge handelt, unnöthige Weitläuftigkeit vermeiden, so genügt es, zuvor nur kurz zu bemerken, dafs die Wärme im Allgemeinen die Möglichkeit des vegetabilischen und animalischen Lebensprocesses bedingt, denn bei absoluter Abwesenheit sowohl, als bei übermäfsiger Intensität derselben hört er gänzlich auf, da es schon Puncte auf der Erde giebt, wo alles vegetabilische Leben gänzlich erstorben ist, und nur wenige Classen von Animalien sich meistens in und auf dem wärmeren Meereswasser zu erhalten vermögen, von der anderen Seite aber hohe Grade der Hitze, wenn sie nur den Siedepunct des Wassers erreichan, alle diejenigen Verbindungen der Körper zerstören, die des Lebensprocesses fähig sind. Die Wärme steht aber mit dem Lebensprocesse in noch näherer ursächlicher Verbindung, indem es eine gewisse mittlere Stärke derselben giebt, die am geeignetsten ist, den Ursprung, das Wachsen und das Gedeihen des vegetabilischen Lebens zu befördern, während über die Grenzen dieses mittleren Zustandes hinaus sowohl durch Vermehrung als auch durch Verminderung der Wärme ihre vortheilhafteste Wirksamkeit abnimmt und zuletzt verschwindend in Zerstörung übergeht. Die Pflanzenwelt erträgt allerdings weit leichter höhere Wärmegrade, als die Thiere, und doch erstreckt sich dieses nur auf einige Species; dagegen widerstehn die Animalien leichter einer intensiveren Kälte, wenn sie gegen den unmittelbaren Einflufs derselben durch genügende Bekleidung geschützt sind. Inzwischen ist dieser Gegenstand in Beziehung auf die Vegetabilien bereits an zwei Orten, wo er nothwendig berücksichtigt werden mufste, bei der Untersuchung des *Klima's*[1] und der *Temperatur*[2], genügend untersucht worden,

---

1 S. Art. *Klima.* Bd. V. S. 895.

2 S. Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 354. Unter vielen andern ist eine interessante Abhandlung über diesen Gegenstand die von Baer über die Verbreitung des organischen Lebens im Recueil des Actes de la

und rücksichtlich der Animalien gab die Untersuchung der thierischen Wärme eine schickliche Gelegenheit, hierüber zu handeln. Daneben aber verdient dieser Gegenstand auch in der besonderen Beziehung die Aufmerksamkeit des Beobachters, als in den auf der höchsten Stufe irdischer Wesen stehenden Animalien Ursache und Wirkung weise gegen einander abgewogen sind, indem diese die zu ihrer Existenz erforderliche Wärme aus sich selbst produciren. Bei den minder vollkommen organisirten Thierclassen ist dieses weniger der Fall, sofern bei ihnen im Winterschlafe die erforderliche Wärmeproduction abnimmt, gleichzeitig hiermit aber auch die Intensität ihres Lebensprocesses. Der vollendetste Organismus zeigt sich dagegen bei den Menschen, sofern diese, besser als alle übrige Thiere, den Einflüssen der verschiedensten Temperaturen widerstehn. Bei ihnen, wie bei den warmblütigen Thieren überhaupt, verdient endlich auch der Umstand bewundernde Beachtung, dafs nach einem höchst merkwürdigen Naturgesetze die Production und Consumtion der Wärme sich insofern das Gleichgewicht halten, als eine nachtheilige Anhäufung sowohl, als auch Entziehung innerhalb gewisser Grenzen nicht statt finden. Becquerel und Breschet[1] (§. 198) stellten mit ihrem thermoelektrischen Apparate, der zugleich mit einem Sorel'schen verbunden war, eine Reihe von Versuchen an, aus denen diese Beständigkeit der menschlichen Wärme augenfällig herhvorging. Das Innere der Mundhöhle, wenn man die eine Löthstelle der vereinten Drähte in diese brachte, die andere aber in Wasser von bestimmter Wärme senkte, fanden sie zum Messen der animalischen Wärme sehr geeignet. Wurde der Arm eines Menschen in Wasser zwischen 0° und 10° C. getaucht, so änderte sich die Wärme des Biceps binnen einer Stunde nicht merklich, und ebenso wenig war dieses der Fall, wenn er in Wasser von 42° C. gesenkt war. Safs der Mensch 20 Minuten in einem Bade von 49° C., so stieg die Wärme des Muskels nur um 0°,2 bis 0°,4, und auch dann, als die Löthstelle neben einer Vene eingesteckt war, aus welcher durch Venensection Blut gelassen wurde, sank die Temperatur nicht merklich.

---

Séance publique de l'Acad. Imp. des Sciences de St. Petersb. 1839. p. 145 ff.

1 Compt. Rend. 1838. Avr. 9.

### 7) Wirkungen der Wärme auf Magnetismus und Elektricität.

572) Der innige Zusammenhang der Wärme mit elektrischen, magnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen ist eine sehr bekannte und in diesem Werke bereits häufig berührte Thatsache, weswegen es im Ganzen genügen wird, hierauf zu verweisen. Wollen wir die Hauptpuncte hier nochmals bezeichnen, so möge zuvor bemerkt werden, daſs nach der Ansicht einiger Physiker Magnetismus und Elektricität ihrem Wesen nach identisch sind, welche Ansicht wir zwar nicht theilen, inzwischen ist der Unterschied dieser Meinungen hier auf jeden Fall von keiner Bedeutung und möge nur zur Rechtfertigung dienen, wenn wir die Wirkungen der Wärme auf den Magnetismus von denen trennen, die sie auf die Elektricität ausübt.

Der Einfluſs der Wärme auf den Magnetismus ist in einem eigenen Abschnitte[1] ausführlich erörtert worden und die zahlreichen Untersuchungen führen im Ganzen zu dem Resultate, daſs die magnetische Kraft künstlicher Stahlmagnete, wie auch die Anziehung des Eisens durch Wärme vermindert, durch Glühhitze aber gänzlich aufgehoben wird. Diese Thatsache darf wohl als unerschütterlich feststehend gelten, ob aber auf gleiche Weise anzunehmen ist, daſs die magnetische Kraft mit der Verminderung der Temperatur fortdauernd wachse, wenn man zu Graden sehr intensiver Kälte übergeht, ist wohl noch nicht auf gleiche Weise constatirt, mindestens spricht eine interessante Beobachtung von Ross[2] dagegen, wenn anders der darauf gebauete Schluſs richtig ist. Derselbe lieſs zu Fury-Bay 12 Magnetnadeln zurück und fand, als er sie bei seiner Rückkehr wieder untersuchte, ihre magnetische Kraft gänzlich verschwunden, was er der strengen Kälte beimiſst, welcher sie während der längeren Zeit ausgesetzt waren. Die Frage verdient durch wiederholte Versuche näher erörtert zu werden.

573) Ungleich bekannter und weit wichtiger ist die Wirkung, welche die Wärme auf die Erregung und das Verhalten der Elektricität bei verschiedenen Körpern äuſsert. Seit den

1 S. Art. *Magnetismus.* Bd. VI. S. 836.

2 Appendix to a second Voyage cet. p. CIX.

ältesten Zeiten ist bekannt, dafs die zur Reibungselektricität dienenden Apparate durch Erwärmung für ihren Zweck weit geeigneter werden. Genau genommen ist dieses wohl ausschliefslich die Folge der besseren Isolirung, denn auch die besten sogenannten idioelektrischen Körper zeigen zuweilen gar keine Elektricität, sobald ihr Feuchtigkeitszustand eine gewisse Grenze erreicht[1], abgesehn davon, dafs die feuchte Luft die Elektricität zu sehr zerstreut, nicht genügend isolirt, daher ihre Spannung hindert und zuletzt gänzlich aufhebt. Der Hauptsache nach dürfen wir unbedenklich hierbei stehn bleiben; denn gesetzt auch es sey durch Becquerel's und meine eigenen Versuche[2] erwiesen oder mindestens wahrscheinlich gemacht, dafs die Wärme in allen Körpern Spuren von Elektricität hervorrufe, so sind diese doch auf jeden Fall zu schwach, als dafs sie der durch Reibungsmaschinen erzeugten eine mefsbare Gröfse hinzusetzen könnten. Ferner kannte man schon seit geraumer Zeit die sogenannte *Krystallelektricität*, die zuerst am *Turmalin* wahrgenommen wurde, und welcher daher ein eigener Artikel gewidmet ist[3].

Die Aufgabe in ihrem ganzen Umfange und in ihrer eigentlichen Wesenheit, sofern es sich um die Erregung der Elektricität sowohl im Turmalin, als auch in sonstigen Krystallen handelt, namentlich um die Beziehung derselben zur Lage der Axen und zur Krystallform derselben, kann hier nicht zur Untersuchung kommen, wo zunächst von den Wirkungen

---

1 Wenn ich bei meinen Versuchen in Poggendorff's Ann. XXII. 218 bemerkte, dafs einige Feuchtigkeit die erzeugte Thermoelektricität zu verstärken scheine, so steht dieses mit dem bekannten nachtheiligen Einflusse der Feuchtigkeit nicht im Widerspruche; denn erstlich ist dabei von einem stark feuchten Zustande nicht die Rede, und zweitens sind jene elektrischen Erregungen so schwach, dafs sie für Messungen der Maschinenelektricität gänzlich verschwinden.

2 Vergl. §. 471 und die daselbst befindlichen Nachweisungen. Becquerel geht in dieser Beziehung wohl zu weit, wenn er in Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. Par. 1840. T. VI. p. 251 sagt: *La chaleur et l'électricité dérivant du même principe, suivant toutes les apparences, et manifestant souvent leur action en même temps etc.*, im Allgemeinen aber läfst sich seit der Entdeckung der Thermoelektricität der innige Zusammenhang beider nicht verkennen.

3 S. Art. *Turmalin*. Bd. IX. S. 1088.

der Wärme die Rede ist, und wir müssen uns daher begnügen, nur die vorzüglichsten Arbeiten, wodurch unsere Kenntnifs dieses Problems neuerdings erweitert worden ist, im Allgemeinen anzuzeigen. An die bereits genannten gründlichen Untersuchungen von Brewster [1] und Becquerel [2] schliefst sich eine mehr beschränkte von Köhler [3] an, welche sich auf den Turmalin, das Kieselzinkerz und den Boracit bezieht. Blofs dem Turmalin gewidmet ist eine ausführliche Abhandlung von G. Rose [4], welche jedoch zunächsr die Bestimmung seiner Krystallform und deren verschiedene Modificationen, zugleich aber das hiermit in genauester Verbindung stehende thermoelektrische Verhalten desselben berücksichtigt. Nach einer grofsen Zahl von Versuchen läfst sich die Art der Elektricität, welche die beiden Enden der Turmalinkrystalle durch Erwärmung und Wiederabkühlung annehmen, auch ohne Versuche aus der Krystallform im voraus bestimmen, indem die Flächen des gewöhnlich vorkommenden dreiseitigen Prisma's und des Rhomboëders hierfür einen Anhaltepunct darbieten. Das Ende der Turmalinkrystalle, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Flächen des dreiseitigen Prisma's aufgesetzt sind, wird bei abnehmender Temperatur negativ, also bei znnehmender positiv elektrisch; dasjenige Ende dagegen, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiseitigen Prisma's aufgesetzt sind, wird bei abnehmender Temperatur positiv, bei zunchmender also negativ. Uebrigens ist die Stärke der Elektricität keineswegs bei allen gleich, sondern wechselt von sehr grofser Intensität bis zu kaum wahrnehmbaren Spuren. Starke Elektricität zeigen solche Krystalle, die im Innern rein und nicht klüftig sind, also einen muschligen Bruch haben. Dahin gehören die hellgefärbten und durchsichtigen Krystalle, welche die schwarzen und undurchsichtigen in dieser Beziehung weit übertreffen. Inzwischen scheinen noch andere unbekannte Bedingungen mitzuwirken, indem unter den schwarzen manche zwar sehr rein, dennoch aber nur schwach

---

1 S. Art. *Turmalin.* Bd. IX. S. 1094. Die Abhandlung findet man auch in Poggendorff's Ann. II. 297.

2 S. Art. *Turmalin.* Bd. IX. S. 1097.

3 Poggendorff's Ann. XVII. 146.

4 Ebend. XXXIX. 285.

elektrisch sind[1]. Einen schätzbaren Beitrag zur Erweiterung unserer Kenntnifs der Krystallelektricität hat P. Erman[2] geliefert. Dieser untersuchte zuerst den *Marekanit*, und fand dabei die sonderbare Eigenschaft, dafs derselbe bald durch Reiben auf Tuch elektrisch wurde, bald gar keine Spur von Elektricität zeigte und in dieser Veränderlichkeit anscheinend ohne irgend einen Grund wechselte. Letzterer lag aber nach entscheidenden und unzweideutigen Versuchen in dem Einflusse der ungleichen Temperatur, wonach diese Krystalle, sowohl die hellen, als auch die trüben, unter 15° vollständig leitend sind, über dieser Temperatur aber zu isoliren anfangen und bei 30° in vollkommene Isolatoren übergehn. Der Gedanke lag sehr nahe, dafs ihr Leitungsvermögen bei geringerer Wärme eine Folge vorhandener Feuchtigkeit sey, die bei höherer schwinde, allein directe Versuche bewiesen die Unzulässigkeit dieser Voraussetzung. Eben diese Eigenthümlichkeit zeigte sich auch mehr oder weniger entschieden bei den *Obsidianen*, bei vielen *Laven* und im hohen Grade beim *Dichroit*; vermuthlich aber liegt in der hierdurch erzeugten Unsicherheit der Grund, weswegen die Mineralogen auf das elektrische Verhalten der Fossilien, als Kennzeichen, keinen hohen Werth legen. Nach Erman ist diese Eigenthümlichkeit sehr paradox, da das bis zum Glühen erhitzte Glas die Elektricität leitet; allein es ist mindestens höchst wahrscheinlich, dafs dieses bei den genannten Fossilien gleichfalls sich zeigen würde, was jedoch nicht ausschliefst, dafs bis 15° über 0 Leitung statt findet, denn aus dem oben erwähnten und anderweitig allgemein bekannten Verhalten des Glases ist wohl unzweifelhaft, dafs die Isolirungsfähigkeit desselben gleichfalls mit zunehmender Temperatur von 0° anfangend wächst, wenn sie auch bei geringer Wärme nicht ganz aufhört, beim Glühen desselben aber gar nicht mehr vorhanden ist. Der *Turmalin* wird nach Erman's Versuchen unter gehöriger Behandlung durch Reiben polarisch-elektrisch, und in Beziehung auf seine Thermoelektricität fand er die bisher beobachteten Erscheinungen dem

1 Die Versuche von Forbes, die man auch in London and Edinburgh Philos. Magaz. N. XXVI. p. 133 findet, sind bereits erwähnt worden.

2 Aus Berliner Denkschriften für 1829 in Poggendorff's Ann. XXV. 607.

Wesen nach bestätigt. Der *Topas* bot anfangs sehr von einander abweichende Resultate dar, nach fortgesetzter genauer Prüfung aber wird der brasilianische Topas ohne allen Einfluſs der Reibung oder Berührung durch Wärmeänderung elektrisch, und zwar bestimmt polarisch, jedoch mit der Anomalie, daſs die negative Elektricität in der Axe und den hiermit parallelen Linien statt findet, die entgegengesetzte positive aber ihre Richtung senkrecht auf die Axe und ihren Sitz überall an der perimetrischen Oberfläche aller Seitenflächen hat. Dieses Verhalten läſst sich, so wie die Elektricität des *Boracits*, am besten prüfen, wenn man einem feinen Bohnenberger'schen Elektrometer einen sehr kleinen Teller giebt, den Krystall darauf legt, und eine der Flächen oder Ecken, die der aufliegenden gegenüber stehn, ableitend berührt, wodurch dieser ihre Elektricität entzogen, die ihr gegenüberstehende aber frei und durch das Elektrometer meſsbar wird. In den sogleich folgenden Untersuchungen werden übrigens die beim Topase wahrgenommenen Abweichungen anders erklärt.

574) Vorzugsweise auf die Bestimmung sowohl derjenigen sämmtlichen Krystalle, welche durch Temperaturveränderungen elektrisch werden, als auch der Eigenthümlichkeiten ihres Verhaltens, welche sich in dieser Hinsicht zeigen, bezieht sich eine ausführliche Abhandlung von W. Hankel[1], deren wesentlicher Inhalt hier mitgetheilt zu werden verdient. Zum Messen der erzeugten Elektricität diente ein Bohnenberger'sches Elektrometer, dessen beide Säulen auf zwei Kupferblechen ruhten, die mittelst dünner, durch das Glasgefäſs hindurchgehender, mit Knöpfchen versehener Stängelchen übereinander verschiebbar waren, um die Säulen einander der schwächeren Spannung angemessen mehr zu nähern. An den Stift des Elektrometers, von welchem das Goldblatt herabhängt, wurde ein feiner, von einer umsponnenen Guitarrensaite genommener, gewundener Draht befestigt und dessen anderes Ende nach gehöriger Isolirung entweder mit dem Krystalle in Berührung gebracht, oder meistens mit einem kleinen messingnen Tischchen verbunden, auf welchem der Krystall und zugleich die

---

1 Dissert. de Thermoelectricitate crystallorum. Hal. 1839. Poggendorff's Ann. XLIX. 493. Quaestionis de thermoelectricitate crystallorum P. altera. Hal. 1840. Poggendorff's Ann. L. 237. 471. 605.

Kugel eines Thermometers lag, welche beide durch eine untergestellte Weingeistlampe eine gleiche Temperatur erhielten. Die untersuchten Krystalle sind folgende:

a) *Zucker*, dessen Elektricität Brewster zuerst wahrnahm. Beim Erwärmen desselben wächst sein polares Verhalten mit der Zunahme der Temperatur, bis letztere nicht mehr rasch fortschreitet, worauf sich die Pole umkehren, nachdem sie vorher durch 0 gegangen sind, und bei fortgesetzter Abkühlung zuerst schwache, dann aber stärkere Wirkungen zeigen, bis auch diese entgegengesetzte verschwindet, bei wieder beginnender Hitze aber wieder zur ersteren übergeht. Kommt der Krystall zum Schmelzen, so verschwindet alle Elektricität.

b) *Weinsäure* zeigt beim ersten Erwärmen zuweilen keine Elektricität, verhält sich aber später fast ganz ebenso, wie der Zucker.

c) *Weinsaures Kalinatron* darf wegen leichter Schmelzbarkeit nicht stark erwärmt werden, zeigt aber gleichfalls Polarität.

d) Beim *Kieselzinkerz* zeigte das verwachsene Ende —, + El., beim *Axinit* und *Prehnit* dagegen +, — El., vom *Mesotyp* aber zeigten selbst einzelne Nadeln beide Elektricitäten.

e) Die Versuche mit verschiedenen *Turmalinen* gaben im Ganzen eine Bestätigung dessen, was Rose gefunden hat, jedoch meint Hankel, sie zeigten insgesammt, auch die schwarzen und undurchsichtigen, deutlich wahrnehmbare Spuren von Elektricität, jedoch einige erst dann, wenn sie nach dem Erwärmen sich wieder abkühlen. Wenn Priestley behauptet, daſs durch Drücken eines isolirt gehaltenen Krystalles die von ihm beim Abkühlen angenommene Elektricität in die entgegengesetzte übergehe, so soll dieses davon herrühren, daſs nicht sowohl das Drücken, als vielmehr die Berührung, die zugleich mit jedem beliebigen leitenden Körper geschehen kann, die vorhandene ableite und die entgegengesetzte bestimme, sich über den ganzen Krystall zu verbreiten, worauf dann nach einiger Zeit die weggenommene wieder zum Vorschein komme. Dieses zeigt sich noch auffallender, wenn man den Krystall auf einen isolirten, mit dem Elektrometer verbundenen Leiter stellt und die Flächen des unteren Endes ableitend berührt, in welchem Falle das Elektrometer die Elektricität des oberen an-

giebt. PRIESTLEY fand ferner bei ungleich erwärmten Turmalinen zuweilen beide Enden gleichnamig elektrisch, und BECQUEREL[1] glaubt, daſs in diesem Falle nur eine Elektricität vorhanden sey, aber nur so lange, bis die entgegengesetzte durch hinlängliche Erwärmung hervorgerufen werde, weil aber HANKEL zu oft eine sofortige Umkehrung der Pole wahrnahm und nicht wahrscheinlich erachtete, daſs die geringste Temperaturerhöhung sogleich eine Umkehrung der Pole des erkalteten Krystalls herbeiführe, so schloſs er, daſs die Elektricität des kälteren Endes, wenn sie der des anderen sich abkühlenden gleich ist, durch Erwärmung erzeugt werde, in welchem Falle dann in der Mitte die entgegengesetzte Elektricität vorhanden seyn muſste, was auch der Versuch, jedoch mit folgender Modification, vollkommen bestätigte. War das erhitzte Ende beim Abkühlen positiv, so gelang es, die positive Elektricität am andern Ende gleichfalls hervorzurufen, und die Mitte zeigte dann negative, die sich durch Ableitung der an beiden Enden befindlichen bedeutend verstärken lieſs. War aber das beim Erkalten negative Ende das heiſsere, so zeigte es beim Herausnehmen aus der Flamme negative Elektricität; doch waren die nächsten Theile bereits positiv, und positive Elektricität zeigte sich über den ganzen Krystall verbreitet.

f) Die *Topas-Krystalle* sind gewöhnlich am einen Ende zerbrochen, und werden in der Art elektrisch, daſs das ausgebildete Ende beim Erwärmen —, beim Abkühlen + Elektricität zeigt. Das von P. ERMAN (§. 573) wahrgenommene anomale Verhalten soll eine Folge des Umstandes seyn, daſs der Krystall häufig sowohl beim Erwärmen, als auch beim Erkalten positive Elektricität vorherrschend zeigt, sobald er auf einer Seite liegt. Bei einem sibirischen Exemplare zeigten sich die ersten Spuren der Thermoelektricität durch eine Erwärmung bis 40°, selten aber traten beide Elektricitäten deutlich hervor, und dieses Fossil scheint daher weniger zur Polarität geneigt, bleibt aber lange Zeit elektrisch.

g) Am *Titanit* konnte HAUY kaum Spuren von Elektricität entdecken, HANKEL brachte es aber so weit, daſs das Goldblättchen anschlug. Am einfachsten läſst sie sich wahrnehmen, wenn man die Krystalle auf einen isolirten, mit dem Elektrometer verbundenen Leiter legt, wobei man 4 elektrische

1 Traité d'Élect. et du Magnét. T. II. p. 64.

Pole P, P′, y, y′ entdeckt, und also entweder zwei parallele, oder zwei sich kreuzende Axen vorhanden seyn müssen, jene mit entgegengesetzten, diese mit gleichnamigen Polen. Genauere Untersuchungen zeigen aber, dafs die erste Voraussetzung die richtige sey, und dafs zwei parallele Axen mit ungleichnamigen Polen an beiden Enden anzunehmen sind; denn P′ mit Y′ und P mit Y zeigen sich stets entgegengesetzt elektrisch.

h) Eine ausführliche Mittheilung der in 46 Versuchsreihen erhaltenen Resultate über die Erregung und den Wechsel der Elektricität des *Boracits* würde zu viel Raum erfordern, und es wird also genügen, zu bemerken, dafs auch bei diesem Fossile die Wärme Elektricität hervorruft, und zwar so, dafs die durch Temperaturerhöhung hervorgerufene durch Temperaturverminderung in die entgegengesetzte übergeht, das polarische Verhalten also keinem Zweifel unterliegt.

i) Sehr merkwürdig in vorliegender Beziehung ist der *Quarz*, indem derselbe drei elektrische Axen mit entgegengesetzten Polen hat und demnach auf den 6 Prismenflächen die drei positiven mit den drei negativen abwechseln. Vielleicht giebt es aufserdem noch eine vierte schwächere in der Richtung der Hauptaxe. Häufig verschwindet jedoch nach der Lage der Krystalle der eine oder der andere Pol, was dann auf die übrigen einen Einflufs ausübt. Wird z. B. durch die Unterlage ein negativer Pol abgeleitet, so überwiegt überall die positive Elektricität, und wenn diese die noch übrigen zwei Pole nicht zu vernichten vermag, so schwächt sie dieselben wenigstens. Eine Vergleichung der Vertheilung der Elektricität beim Bergkrystall mit der beim Turmalin und die Berücksichtigung ihrer optischen Verschiedenheit führt zu der Vermuthung, dafs zwischen ihren optischen und elektrischen Axen ein Zusammenhang statt finde.

575) Von der Erregung der Elektricität durch Wärme, der eigentlich sogenannten *Thermoelektricität*[1], ist bereits in einem

1 Man redet sowohl von *Thermoelektricität*, als auch von *Thermomagnetismus*, allein die erste Bezeichnung ist wohl unzweifelhaft die richtige, denn der erzeugte Strom ist ohne Widerrede ein elektrischer, die Identität der Elektricität und des Magnetismus aber wegen der Verschiedenheit ihrer Aeufserungen unzulässig, wenn sich gleich

eigenen Artikel[1] ausführlich gehandelt worden, und es können daher hier nur einige nachträgliche Bemerkungen aufgenommen werden. Diese stehn aber gerade mit der Wärme im nächsten Zusammenhange. Wir erwähnen eine hierauf bezügliche Aeufserung von Draper[2], wonach die Thermoelektricität mit zunehmender Temperatur zwar wachsen soll, aber nur unbedeutend. Wäre diese Behauptung richtig, so würde aus ihr nothwendig folgen, dafs eine Messung der Temperatur mittelst der Gröfse der Ablenkung der Magnetnadel durch den thermoelektrischen Strom unzulässig seyn müfste, denn diese setzt voraus, dafs die Tangente des Abweichungswinkels der Temperatur direct proportional sey. Es scheint überflüssig zu seyn, auf eine Widerlegung dieses Satzes einzugehn, nachdem wir so oft die Messungen der Temperaturen mittelst des Thermomultiplicators in den bisherigen Untersuchungen als durch ein genügend genaues Mefsinstrument geschehn erwähnt haben und überhaupt die thermomagnetischen Thermometer als eigene, den Forderungen durch ihre Genauigkeit genügende Apparate anerkannt werden[3]. Inzwischen wollen wir, aufser dem, was hierüber bereits gesagt worden ist[4], die zur Erledigung dieser Frage gehörigen Versuche von Becquerel[5] hier mittheilen. Dieser senkte von den beiden Löthstellen zweier Metalldrähte die eine in schmelzenden Schnee, die andere in heifses Wasser, mafs die Ablenkung der Magnetnadel des Thermomultiplicators, mit dessen Enden die Drahtenden der thermoelektrischen Kette verbunden waren, bestimmte hieraus die Intensitäten des elektrischen Stromes, und verglich diese mit den berechneten, woraus folgende Resultate hervorgingen.

---

beide, ebenso wie Elektricität und Wärme, stets vereint finden und sich wechselseitig bedingen.

1 S. Art. *Thermoelektricität.* Bd. IX. S. 731.

2 Lond. and Edinb. Phil. Magaz. N. CV. p. 451.

3 Vergl. Art. *Thermometer.* Bd. IX. S. 998.

4 S. Art. *Thermoelektricität.* Bd. IX. S. 781.

5 Ann. de Chim. et Phys. T. XLI. p. 353. T. XLVI. p. 346. Schweigger's Journ. LVII. 311.

| Vereinte Metalle | Temperatur d. Löthstelle | Ablenkung d. Nadel | Intensitäten d. Stromes gefundene | Intensitäten d. Stromes berechnete |
|---|---|---|---|---|
| Eisen und Silber . . | 40° C. | 52° | 76 | 76 |
| | 30 | 45 | 56,76 | 57 |
| | 20 | 40 | 33 | 38 |
| | 10 | 27 | 18,80 | 19 |
| Eisen und Kupfer . . | 40 | — | — | 80 |
| | 30 | 48 | 50,92 | 60 |
| | 20 | 41 | 40,70 | 40 |
| | 10 | 28 | 20 | 20 |
| Kupfer und Platin . | 40 | 41 | 40,40 | 40 |
| | 30 | 36 | 30,23 | 30 |
| | 20 | 28 | 20,10 | 20 |
| | 10 | 18 | 10 | 10 |
| Silber und Zinn . . | 40 | — | — | — |
| | 30 | 48 | 59,92 | 60 |
| | 20 | 41 | 40,70 | 40 |
| | 10 | 28 | 20 | 20 |
| Kupfer und Silber . . | 40 | 34 | 27,20 | 26,84 |
| | 30 | 28 | 20 | 20,13 |
| | 20 | 22 | 13,30 | 13,42 |
| | 10 | 13 | 6,60 | 5,71 |

Dafs in sehr hohen Hitzegraden leicht Abweichungen von diesem Gesetze der Proportionalität eintreten, ist bereits erwähnt worden.

Als eine interessante Zugabe zu dem, was bisher über die Combinationen der Metalle zu thermoelektrischen Ketten bekannt war, möge hier noch eine Entdeckung Poggendorff's[1] erwähnt werden. Dieser fand, dafs eine Verbindung aus Eisen und Neusilber (Packfong) die aus Platin und Eisen ersetzt, wenn es um die Messung starker Hitzegrade zu thun ist, ja dafs sie dieser wegen ihrer Wohlfeilheit noch vorzuziehn, zugleich aber empfindlicher ist. Das Neusilber ist nach Seebeck[2] in der thermoelektrischen Reihe ein sehr positiver Körper, folgt gleich auf Wismuth und Nickel und steht daher über dem Platin. Wirklich übertrifft eine solche Kette auch die aus Eisen und Platin hinsichtlich der Stromstärke bedeutend, wovon Poggendorff selbst sich durch eine Vergleichung mit Hülfe

1 Poggendorff's Ann. L. 250.

2 Ebend. VI. 155.

eines sogenannten Differential-Galvanometers überzeugte. Minder wichtig ist eine ältere Bemerkung von Nordenskiold[1]. Hiernach umwindet man einen Stab Antimon von 8 Zoll Länge und 0,5 Zoll Dicke an seinen beiden Enden mit den beiden Enden eines Messingdrahtes und erhält durch Erhitzung des einen Endes sogleich Spuren elektrischer Strömung. Hiernach würde also bloſse genaue Berührung heterogener Metalle zur Erzeugung eines elektrischen Stromes durch Erwärmung genügen, statt daſs man dieselben gewöhnlich zusammen zu löthen pflegt. In welchem Verhältniſs der Stärke beide Methoden zu einander stehn, ist, so viel ich weiſs, auf jeden Fall noch nicht genügend untersucht worden.

Endlich wollen wir zum Beschluſs noch die Bemerkung hinzufügen, daſs Hansteen[2] selbst die Ursache der *täglichen magnetischen Oscillationen* im Thermomagnetismus sucht. Diese Ansicht eines um die Erscheinungen des tellurischen Magnetismus so hoch verdienten Gelehrten dient sehr zur Unterstützung der Hypothese, wonach der tellurische Magnetismus überhaupt als das Resultat desjenigen elektrischen Stromes abgeleitet wird, welchen der tägliche Umlauf der Sonne und die Erwärmung durch ihre Strahlen auf unserer Erde erzeugen soll, wonach also der tellurische Magnetismus nichts anderes als Thermomagnetismus wäre.

## Nachtrag zur specifischen Wärmecapacität.

Ueber die specifische Wärme der Körper ist oben im 4ten Abschnitt der Abtheilung E. das Erforderliche mitgetheilt worden, und ich habe mich bemüht, den Hauptinhalt der darüber bekannt gewordenen Untersuchungen zusammenzustellen. Zu den wichtigsten derselben gehören diejenigen, wodurch Victor Regnault diesen Zweig bedeutend erweitert hat und von denen daher (oben §. 427 fgg.) ausführlich gehandelt wurde. Ebenderselbe hat seitdem eine zweite, ebenso reichhaltige und wichtige Abhandlung bekannt gemacht[3], welche die von ihm gefun-

---

1 Annals of Philos. New Ser. T. IV. p. 318.

2 Magaz. for Naturvitenskaberne. T. II. p. 108.

3 Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. I. p. 129. Das Mspt. war bereits zum Druck abgesandt, als mir diese Abhandlung bekannt wurde, deren Inhalt aber zu wichtig ist und mit dem der früheren in

denen Bestimmungen der specifischen Wärmecapacitäten zusammengesetzter Körper enthält. Das früher gewählte Verfahren der Mischungen brachte er auch hierbei in Anwendung, doch ist in Beziehung auf die untersuchten Körper Folgendes zu berücksichtigen. Einige derselben hat man blofs in Pulverform, und diese ist für die Versuche sehr unbequem. Wird das Pulver mit Wasser zu einem Teige gemacht und dieser calcinirt, so erhält man zuweilen Stücke, die unmittelbar in die kleinen Körbchen gelegt werden können, allein sie ziehn dann leicht Feuchtigkeit an und entbinden nach POUILLET's Versuchen (§. 118) Wärme, wodurch die Resultate fehlerhaft werden. Die Menge der auf diese Weise freiwerdenden Wärme für jede einzelne Substanz zu bestimmen würde grofse Schwierigkeiten gehabt haben, REGNAULT ermittelte aber, dafs der Einflufs, welchen diese auf die specifische Wärme haben konnte, 0,034 der letzteren nicht überstieg, und er nahm daher bei den Bestimmungen hierauf gehörige Rücksicht. Allerdings könnte man diese Substanzen in hermetisch verschlossene Gefäfse mit sehr dünnen Wandungen einschliefsen, allein da diese dann sehr langsam erkalten, so würde man dadurch noch gröfsere Fehler herbeiführen. Man könnte auch die Substanzen mit einer hinlänglichen, gemessenen Quantität Wasser benetzen und diese in Rechnung nehmen; allein dann würde die specifische Wärme der Pulver nur ein Bruchtheil derjenigen des sie benetzenden Wassers seyn und dadurch noch mehr Ungewifsheit herbeigeführt werden. Die Salze ziehn zu leicht Feuchtigkeit aus der Atmosphäre an, als dafs sie selbst in Gestalt zusammengeballter Brocken zu diesen Versuchen geeignet seyn sollten; es war daher vorzuziehn, sie in einem Platintiegel zu einer einzigen Paste zusammenzuschmelzen und dann die noch heifse Oberfläche mit einer sehr dünnen Schicht Oel zu überziehn, deren Gewicht verschwindend klein ist, die aber dennoch genügt, die Feuchtigkeit eine kurze Zeit abzuhalten, um das Gewicht zu bestimmen. Allerdings erfolgt dann die Abkühlung der gröfseren Masse etwas langsamer, allein der hieraus hervorgehende Einflufs ist nicht sehr bedeutend. Für einige sehr zerfliefsliche Salze, z. B. chlorsaures Zink, genügt dieses Mittel nicht; man

---

zu genauem Zusammenhange steht, als dafs er in diesem Werke fehlen dürfte, weswegen ich ihn hier nachträglich hinzufüge.

mufs sie daher schmelzen und in eine am einen Ende verschlossene Glasröhre giefsen.

Regnault machte sich vorläufig mit den Untersuchungen anderer Gelehrten über diese nämliche Aufgabe bekannt. Dahin gehören vorzüglich die oben (§. 441 fgg.) mitgetheilten von Avogadro, wobei er jedoch auf eine nähere Prüfung der aus ihnen vermeintlich hervorgehenden allgemeinen Gesetze nicht eingeht, und die gehaltreichen, oben (§. 433) gleichfalls ausführlich erörterten, von Neumann. In Beziehung auf diese letzteren bemerkt er, dafs die untersuchten Körper solche zusammengesetzte sind, wie sie in der Natur vorkommen, wovon der gröfste Theil wegen ihrer complexen Zusammensetzung und bei der statt findenden Ungewifsheit hierüber zur Auffindung allgemeiner Gesetze nicht geeignet scheint. Ob aber der Einwurf gegen die durch Neumann gefundenen Gesetze, dafs die Zahl der Versuche zu ihrer Begründung zu gering sey, mehrere derselben Resultate liefern, die sich zu weit von den berechneten entfernen oder sich auf Zusammensetzungen beziehn, deren chemisches Mischungsverhältnifs nicht scharf genug bestimmt sey, und dafs endlich sehr von einander abweichende Bestimmungen gefunden, von diesen aber die gerade für die Hypothese passenden gewählt seyen, als genügend begründet gelten könne, darüber wage ich nicht zu entscheiden; die bekannte Sorgfalt und Zuverlässigkeit des Experimentators sichert auf jeden Fall gegen den Verdacht eines Mangels an Genauigkeit. Ueber die neuesten Arbeiten von Marcet und de la Rive bemerkt Regnault blofs, dafs sie noch fortgesetzt werden. In Beziehung auf seine eigene vorliegende Abhandlung bemerkt er, man werde sich aus den erhaltenen Resultaten bald überzeugen, dafs die hier untersuchten festen und flüssigen Körper sich nicht auf eine sichere Weise zur Bestimmung der Verhältnisse eignen, welche zwischen der specifischen Wärme dieser Zusammensetzungen und der ihrer Elemente statt finden. Hierüber beabsichtigt er demnächst eigene Untersuchungen anzustellen, wenn er die Bestimmungen der specifischen Wärme gasförmiger Körper beendigt haben wird.

Die untersuchten Körper bilden fünf Gruppen, deren erste Verbindungen der Metalle begreift. Hierzu gehören zuerst die *Alliagen*. Vor allem wurde dafür gesorgt, reine Metalle zu

erhalten, sie in Pulverform, wenn dieses nöthig schien, zu mengen, in einem Tiegel zu schmelzen, dann stark umzurühren und durch Ausschütten auf einen kalten Körper schnell erstarren zu machen. Die Verbindung war allgemein nach dem einfachen Atomverhältnisse. Es verdienen zugleich zwei Classen von Alliagen unterschieden zu werden, zuerst diejenigen, deren Schmelzpunct beträchtlich über dem Siedepuncte des Wassers liegt, und solche, die schon bei 100° C. oder sogar noch unter dieser Temperatur schmelzen, auf jeden Fall bei dieser Wärme weich werden. Diesen Unterschied zu beachten ist deswegen wichtig, weil die Körper bei den Versuchen bis 100° C. erwärmt werden und also ihr Schmelzen oder Weichwerden auf ihre Wärmecapacität einen Einfluſs haben kann. Zu dieser Gruppe gehören dann zweitens auch die *Amalgame*, wovon das Nämliche gilt.

Die zweite Gruppe bildeten die *Oxyde*. Hierhin gehören Bleiprotoxyd, wozu reines, in einem Platintiegel wenig geschmolzenes, Mennig diente, und Silberglätte, bis zum Dunkelrothglühen erhitzt, die in Glasröhren eingeschlossen wurde. Die untersuchten Körper waren ferner: rothes Quecksilberoxyd, aus dem salpetersauren durch gehörige Hitze hergestellt; Manganoxydul (*Protoxide de Manganèse*), aus dem Hyperoxyd durch starkes Glühn erhalten; schwarzes Kupferoxyd, durch Calcinirung des salpetersauren Kupfers in kleinen, hinlänglich harten Brocken gewonnen; Nickeloxydul, auf gleiche Weise bereitet, welches aber beim Aufsaugen des Wassers einige Wärme entwickelte, so daſs die gefundene Wärmecapacität wohl etwas zu groſs sein kann; Magniumoxyd und Zinkoxyd. Der Versuch aber, die Wärmecapacität des Baryum-, Strontium- und Calcium-Oxyds zu bestimmen, miſslang, weil diese Substanzen selbst durch das Aufsaugen des Terpentinspiritus Wärme entwickeln. Die genannten Oxyde gehören zu derjenigen Classe, die durch RO bezeichnet wird. Ueber diejenige Classe von Oxyden, die durch $R^2O^3$ bezeichnet werden, ergeben die mit Kolkothar angestellten Versuche, daſs die Wärmecapacität des Eisenoxyds (*Peroxide de fer*) durch Calcination abnimmt und zuletzt derjenigen gleich kommt, welche der natürliche Eisenglanz zeigt. Die glasige arsenige Säure sog etwas Wasser auf, allein dieses hatte auf die Bestimmung der Wärmecapacität keinen Einfluſs, denn der Versuch, mit Terpentinspiritus angestellt,

gab ganz gleiche Resultate. Ueber die Oxyde, die zur Classe $RO^3$ gehören, finde ich nichts der besondern Beachtung werthes angegeben.

Zur dritten Gruppe werden die Schwefelverbindungen (*Sulfures*) gerechnet, und zwar die zu den Classen $RS$, $R^2S^3$, $RS^2$, $R^2S$ gehörigen und die complexen, wobei ich aber im Einzelnen nichts besonders zu beachtendes bemerkt finde. Die vierte Gruppe bilden nach Regnault die Chlorverbindungen (*Chlorures*), und zwar die zu den Classen $R^2Cl^2$, $RCl^2$, $RCl^4$, $R^2Cl^6$ gehörenden, ferner die Bromverbindungen (*Bromures*) der Classen $R^2Br^2$, $RBr^2$, die Iodverbindungen (*Iodures*) der Classen $R^2I^2$, $RI^2$ und die Fluorverbindungen (*Fluorures*) der einzigen Classe $RFl^2$. Zu bemerken ist hierbei, daſs das angewandte Clormangan aus einer zur Trockne abgedampften Solution im Wasser erhalten worden war, indem der Rückstand in einem Platintiegel nach Zusatz von etwas Clorwasserstoffsäure geschmolzen wurde. Aller Sorgfalt ungeachtet lieſs sich jedoch eine partielle Zersetzung nicht vermeiden, denn als die Masse im Wasser gelöst wurde, blieb ein meſsbarer Rückstand, und die erhaltene Bestimmung kann daher nur als eine approximative gelten. Beim bromsauren Natron wurde erst nach dem Versuche entdeckt, daſs etwas kohlensaures vorhanden war, und das erhaltene Resultat ist daher etwas zu groſs. Das Iodkupfer (*Protoiodure de cuivre*), durch doppelte Zersetzung bereitet und dann in einem Platintiegel geschmolzen, gab zwei sehr von einander abweichende Resultate, was jedoch erst bemerkt wurde, als die Substanz bereits weggeworfen war. In der fünften und letzten Gruppe werden die *Salze* vereinigt, nämlich die salpetersauren $Az^2O^5 + R^2O$ und $Az^2O^5 + RO$, die chlorsauren $Cl^2O^5 + R^2O$, die phosphorsauren $P^2O^5 + 2R^2O$ (*Pyrophosphates*); $P^2O^5 + 2PbO$; $P^2O^5 + RO$ (*Métaphosphates*), die arseniksauren $Ar^2O^5 + R^2O$; $Ar^2O^5 + 3RO$, die schwefelsauren $SO^3 + R^2O$; $SO^3 + RO$, die chromsauren, die boraxsauren $B^2O^6 + R^2O$; $B^2O^6 + RO$; $B^2O^6 + 2R^2O$; $B^2O^6 + 2RO$, die scheelsauren, die Silicate und die kohlensauren $CO^2 + R^2O$; $CO^2 + RO$. Bemerkt ist hierbei, daſs das phosphorsaure Blei durch doppelte Zersetzung erhalten wurde, indem zu einer Lösung des phosphorsauren Natrons eine Lösung von essigsaurem Blei gesetzt, das Präcipitat mehrmals mit Wasser gekocht, auf dem Filtrum gewaschen und endlich in ei-

nem Platintiegel geschmolzen ward. Um beim doppeltarseniksauren Kali eine Zersetzung zu vermeiden, ward der dasselbe enthaltende Tiegel sofort nach dem Schmelzen vom Feuer entfernt. Die Bereitung des arseniksauren Bleies geschah durch Verbindung einer Auflösung des arseniksauren Natrons mit einer solchen des essigsauren Bleis; auf gleiche Weise wurde das schwefelsaure Blei aus der Zersetzung des essigsauren durch Schwefelsäure und der schwefelsaure Strontian aus der Zersetzung des salpetersauren durch Schwefelsäure erhalten. Endlich dienten zur Erhaltung des boraxsauren Bleis das Zusammenschmelzen gewöhnlicher Boraxsäure mit Silberglätte in einem Platintiegel, so wie zur Erzeugung des boraxsauren Kali's und Natrons das Zusammenschmelzen der erforderlichen Mengen Boraxsäure mit kohlensaurem Kali oder Natron in einem gleichen Tiegel.

Es scheint mir unnöthig, die einzelnen durch Regnault gefundenen Gröfsen, aus denen er die specifischen Wärmecapacitäten abgeleitet hat, hier mitzutheilen, vielmehr wird es genügen, die von ihm tabellarisch zusammengestellten Endresultate aufzunehmen, weil zu erwarten steht, dafs diese einer künftig aufzufindenden Theorie als Grundlage dienen können. Die nachfolgende Tabelle ist durch sich selbst verständlich, nur mufs bemerkt werden, dafs die angegebenen Atomgewichte diejenigen sind, die im Allgemeinen als die richtigen angenommen werden, wobei ich die Genauigkeit der Angaben zu prüfen aufser Stande bin. Endlich bedarf es kaum der Bemerkung, dafs, wie oben, die spec. Wärme des Wassers als Einheit angenommen worden ist, die Producte aber diejenigen Gröfsen bezeichnen, die man durch die Multiplication der spec. Wärme in die Atomgewichte erhält.

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Product |
|---|---|---|---|---|
| **Erste Gruppe. Metallische Verbindungen.** | | | | |
| 1 At. Blei, 1 At. Zinn . . | 0,04058<br>0,04087 | 0,04073 | 1014,9 | 41,34 |
| 1 At. Blei, 2 At. Zinn . . | 0,04526<br>0,04487 | 0,04506 | 921,7 | 41,53 |
| 1 At. Blei, 1 At. Antimon | 0,03877<br>0,03882 | 0,03880 | 1050,5 | 40,76 |
| 1 At. Wismuth, 1 At. Zinn | 0,04024<br>0,03977 | 0,04000 | 1032,8 | 41,31 |
| 1 At. Wismuth, 2 At. Zinn | 0,04500<br>0,04507 | 0,04504 | 933,7 | 42,05 |
| 1 At. Wismuth, 2 At. Zinn, 1 At. Antimon . . . . | 0,04674<br>0,04567 | 0,04621 | 901,8 | 41,67 |
| 1 At. Wismuth, 2 At. Zinn, 1 At. Antimon, 2 At. Zink | 0,05701<br>0,05612 | 0,05657 | 735,6 | 41,61 |
| 1 At. Blei, 2 At. Zinn, 1 At. Wismuth . . . . . . | 0,04512<br>0,04439 | 0,04476 | 1023,9 | 45,83 |
| 1 At. Blei, 2 At. Zinn, 2 At. Wismuth . . . . . | 0,06077<br>0,06087 | 0,06082 | 1085,2 | 66,00 |
| 1 At. Quecksilber, 1 At. Zinn | 0,07235<br>0,07353 | 0,07294 | 1000,5 | 72,97 |
| 1 At. Quecksilber, 2 At. Zinn | 0,06591 | 0,06591 | 912,1 | 60,12 |
| 1 At. Quecksilber, 1 At. Blei | 0,03824<br>0,03829 | 0,03827 | 1280,1 | 48,99 |
| **Zweite Gruppe. Oxyde.** | | | | |
| A. Oxyde RO. | | | | |
| Bleioxyd, gepulvert . . . | 0,05117<br>0,05119 | 0,05118 | 1394,5 | 71,34 |
| geschmolzen . . | 0,05096<br>0,05074<br>0,05097 | 0,05089 | 1394,5 | 70,94 |
| Quecksilberoxyd . . . . | 0,05149<br>0,05210 | 0,05179 | 1365,8 | 70,74 |
| Manganoxydul . . . . . . | 0,15635<br>0,15768 | 0,15701 | 445,9 | 70,01 |
| Kupferoxyd . . . . . | 0,14201 | 0,14201 | 495,7 | 70,39 |
| Nickeloxyd . . . . . . . | 0,16278<br>0,16190 | 0,16234 | 469,6 | 76,21 |
| calcinirt . . . | 0,15890<br>0,15880 | 0,15885 | 469,6 | 74,60 |
| Magniumoxyd . . . . . . | 0,24394 | 0,24394 | 258,4 | 63,03 |
| Zinkoxyd . . . . . . . | 0,12378<br>0,12657<br>0,12301<br>0,12582 | 0,12480 | 503,2 | 62,77 |

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Product |
|---|---|---|---|---|
| B. Oxyde $R^2O^3$. | | | | |
| Eisenoxyd (*fer oligiste*) . | 0,16658<br>0,16754<br>0,16672 | 0,16695 | 978,4 | 163,35 |
| (Kolkothar wenig calcin.) | 0,17569 | 0,17569 | 978,4 | 171,90 |
| ( . . . mehr calc.) | 0,17167 | 0,17167 | 978,4 | 168,00 |
| ( . . . stark calc.) | 0,16921<br>0,16707 | 0,16814 | 978,4 | 164,44 |
| Arsenige Säure . . . . | 0,13072<br>0,12624<br>0,12663<br>0,12696 | 0,12786 | 1240,1 | 158,56 |
| Chromoxyd . . . . . | 0,18083<br>0,17809<br>0,17990 | 0,17960 | 1003,6 | 180,01 |
| Wismuthoxyd . . . . . | 0,06163<br>0,06065<br>0,06042 | 0,06053 | 2960,7 | 179,22 |
| Antimonoxyd . . . . . | 0,09111<br>0,08983<br>0,08932 | 0,09009 | 1912,9 | 172,34 |
| Alumium (Demanthspath) . | 0,19762 | 0,19762 | 642,4 | 126,87 |
| (Sapphir) . . . | 0,21863<br>0,21895<br>0,21440 | 0,21732 | 642,4 | 139,61 |
| C. Oxyde $RO^2$. | | | | |
| Zinnsäure . . . . . . | 0,09382<br>0,09328<br>0,09268 | 0,09326 | 935,3 | 87,23 |
| Titansäure (künstlich) . . | 0,17227<br>0,17101 | 0,17164 | 503,7 | 86,45 |
| (Rutil) . . . | 0,17028<br>0,17036 | 0,17032 | 503,7 | 85,79 |
| Antimonige Säure . . . . | 0,09579<br>0,09431<br>0,09596 | 0,09535 | 1006,5 | 95,92 |
| D. Oxyde $RO^3$. | | | | |
| Scheelsäure . . . . . . | 0,07963<br>0,08003 | 0,07983 | 1483,2 | 118,38 |
| Molybdänsäure . . . . . | 0,13705<br>0,12775 | 0,13240 | 898,5 | 118,96 |
| Kieselsäure . . . . . . | 0,19196<br>0,19045<br>0,19163 | 0,19132 | 577,5 | 110,48 |

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Product |
|---|---|---|---|---|
| Boraxsäure . . . . . . . | 0,23872<br>0,23615 | 0,23743 | 436,0 | 103,52 |
| **E. Complexe Oxyde.** | | | | |
| Magneteisen . . . . . | 0,16686<br>0,16872 | 0,16780 | 1417,6 | 237,87 |
| **Dritte Gruppe. Sulfüren.** | | | | |
| **A. Sulfüren RS.** | | | | |
| Magnetkies . . . . . . . | 0,13532<br>0,13674<br>0,13570<br>0,13504 | 0,13570 | 540,4 | 73,33 |
| Schwefelnickel . . . . | 0,12804<br>0,12820<br>0,12814 | 0,12813 | 570,8 | 73,15 |
| Schwefelkobalt . . . . . . | 0,12581<br>0,12443 | 0,12512 | 570,0 | 71,34 |
| Schwefelzink . . . . . | 0,12305<br>0,12300 | 0,12303 | 604,4 | 74,35 |
| Schwefelblei . . . . . | 0,05086<br>0,05107<br>0,05065 | 0,05086 | 1495,6 | 76,00 |
| Schwefelquecksilber . . . | 0,05137<br>0,05149<br>0,05067<br>0,05116 | 0,05117 | 1467,0 | 75,06 |
| Einfach Schwefelzinn . . | 0,08408<br>0,08322 | 0,08365 | 936,5 | 78,34 |
| **B. Sulfüren $R^2 S^3$.** | | | | |
| Schwefelantimon . . . . | 0,08462<br>0,08344 | 0,08403 | 2216,4 | 186,21 |
| Schwefelwismuth . . . . | 0,06038<br>0,05965 | 0,06002 | 3264,2 | 195,90 |
| **C. Sulfüren $RS^2$.** | | | | |
| Schwefelkies (doppelt Schwefeleisen) . . . . . . . | 0,12927<br>0,13079<br>0,12969<br>0,13061 | 0,13009 | 741,6 | 96,45 |
| Doppelt Schwefelzinn . . | 0,11788<br>0,12076 | 0,11932 | 1137,7 | 135,66 |
| Schwefelmolybdän . . . | 0,12337<br>0,12172<br>0,12493 | 0,12334 | 1001,0 | 123,46 |

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Pro-duct |
|---|---|---|---|---|
| | **D. Sulfüren $R^2$ S.** | | | |
| Schwefelkupfer . . . . . | 0,12165<br>0,12121<br>0,12068 | 0,12118 | 992,0 | 120,2 |
| Schwefelsilber . . . . . . | 0,07467<br>0,07411<br>0,07533<br>0,07419 | 0,07460 | 1553,0 | 115,86 |
| | **E. Complexe Sulfüren.** | | | |
| Magnetkies . . . . . . . | 0,16095<br>0,15948 | 0,16023 | . . . | . . . |

## Vierte Gruppe. Chlorüren, Bromüren, Iodüren, Fluorüren.

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Pro-duct |
|---|---|---|---|---|
| | **A. Chlorverbindungen $R^2$ $Cl^2$.** | | | |
| Chlornatrium . . . . . . | 0,21362<br>0,21440 | 0,21401 | 733,5 | 156,97 |
| Chlorkalium . . . . . . | 0,17448<br>0,17142 | 0,17295 | 932,5 | 161,19 |
| Halb-Chlor-Quecksilber . . | 0,05213<br>0,05196 | 0,05205 | 2974,2 | 154,80 |
| Einfach-Chlor-Kupfer . . | 0,13929<br>0,13725 | 0,13827 | 1234,0 | 156,83 |
| Chlorsilber . . . . . . . | 0,09084<br>0,09157<br>0,09086 | 0,09109 | 1794,2 | 163,42 |
| | **B. Chlorverbindungen R $Cl^2$.** | | | |
| Chlorbaryum . . . . . . | 0,08891<br>0,09023 | 0,08957 | 1299,5 | 116,44 |
| Chlorstrontium . . . . . . | 0,11972<br>0,12008 | 0,11990 | 989,9 | 118,70 |
| Chlorcalcium . . . . . . | 0,16453<br>0,16385 | 0,16420 | 698,6 | 114,72 |
| Chlormagnium . . . . . . | 0,19460 | 0,19460 | 601,0 | 118,54 |
| Chlorblei . . . . . . . | 0,06623<br>0,06643<br>0,06656 | 0,06641 | 1737,1 | 115,35 |
| Doppelt-Chlorquecksilber . | 0,06957<br>0,06821 | 0,06889 | 1708,4 | 117,68 |
| Chlorzink . . . . . . . | 0,13618 | 0,13618 | 845,8 | 115,21 |
| Doppelt-Chlorzinn . . . | 0,10192<br>0,10131 | 0,10161 | 1177,9 | 119,59 |
| Chlormangan . . . . . . | 0,14335<br>0,14175 | 0,14255 | 788,5 | 112,51 |

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Product |
|---|---|---|---|---|
| C. Flüchtige Chloride $RCl^4$. | | | | |
| Doppelt-Chlorzinn . . . | 0,14705<br>0,14813 | 0,14759 | 1620,5 | 239,18 |
| Doppelt-Chlor-Titan . . . | 0,18675<br>0,19028<br>0,18732 | 0,19145 | 1188,9 | 227,63 |
| D. Flüchtige Chloride $R^2Cl^6$. | | | | |
| Dreifach-Chlor-Arsenik . . | 0,17478<br>0,17603<br>0,17730 | 0,17604 | 2267,8 | 399,26 |
| Dreifach-Chlor-Phosphor . | 0,21114<br>0,20730 | 0,20922 | 1720,1 | 359,86 |
| A. Bromüren $R^2Br^2$. | | | | |
| Bromkalium . . . . . . | 0,11347<br>0,11297 | 0,11322 | 1468,2 | 166,21 |
| Bromsilber . . . . . . . | 0,07278<br>0,07422<br>0,07473 | 0,07391 | 2330,0 | 173,31 |
| Bromnatrium . . . . . | 0,13872<br>0,13812 | 0,13842 | 1269,2 | 175,65 |
| B. Bromüren $RBr^2$. | | | | |
| Bromblei . . . . . . | 0,05393<br>0,05357<br>0,05243<br>0,05313 | 0,05326 | 2272,8 | 121,00 |
| A. Iodüren $R^2I^2$. | | | | |
| Iodkalium . . . . . . . | 0,08199<br>0,08114<br>0,08203<br>0,08248 | 0,08191 | 2068,2 | 169,38 |
| Iodnatrium . . . . . . . | 0,08701<br>0,08667 | 0,08684 | 1869,2 | 162,30 |
| Halb-Iod-Quecksilber . . | 0,03967<br>0,03930 | 0,03949 | 4109,3 | 162,34 |
| Iodsilber . . . . . . . . | 0,06147<br>0,06158<br>0,06173 | 0,06159 | 2929,9 | 180,45 |
| Halb-Iodkupfer . . . . | 0,06580<br>0,07159 | 0,06869 | 2369,7 | 162,81 |
| B. Iodüren $RI^2$. | | | | |
| Iodblei . . . . . . | 0,04269<br>0,04274<br>0,04258 | 0,04267 | 2872,8 | 122,54 |
| Iodquecksilber . . . . . . | 0,04115<br>0,04176<br>0,04301 | 0,04197 | 2844,1 | 119,36 |

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Product |
|---|---|---|---|---|
| Fluorüren $RFl^2$. | | | | |
| Fluorcalcium . . . . . . | 0,21458<br>0,21456<br>0,21562 | 0,21492 | 489,8 | 105,31 |
| calcinirt . . . | 0,21686 | | | |
| **Fünfte Gruppe. Salze.** | | | | |
| A. Salpetersaure $Az^2O^5 + R^2O$. | | | | |
| Salpeters. Kali . . . . . . | 0,23746<br>0,24004 | 0,23875 | 1266,9 | 302,49 |
| Salpeters. Natron . . . . | 0,27856<br>0,27786 | 0,27821 | 1067,9 | 297,13 |
| Salpeters. Silber . . . . | 0,14352 | 0,14352 | 2128,6 | 305,55 |
| Salpetersaure $Az^2O^5 + R^2O$. | | | | |
| Salpeters. Baryt . . . . | 0,15212<br>0,15244 | 0,15228 | 1633,9 | 248,83 |
| B. Chlorsaure Salze $Cl^2O^5 + R^2O$. | | | | |
| Chlorsaures Kali . . . . | 0,20990<br>0,20922 | 0,20956 | 1532,4 | 321,04 |
| C. Phosphorsaure Salze $P^2O^5 + 2R^2O$ (*Pyrophosphates*). | | | | |
| Phosphors. Kali . . . . | 0,19179<br>0,19025 | 0,19102 | 2072,1 | 395,79 |
| Phosphors. Natron . . . | 0,22868<br>0,22798 | 0,22833 | 1674,1 | 382,22 |
| Phosphorsaure Salze $P^2O^5 + 2RO$. | | | | |
| Phosphors. Bleioxyd . . . | 0,08150<br>0,08265 | 0,08208 | 3681,3 | 302,14 |
| Metaphosphorsaure Salze $P^2O^5 + RO$. | | | | |
| Metaphosphors. Kalk . . . | 0,19822<br>0,20025 | 0,19923 | 1248,3 | 248,64 |
| Phosphorsaure Salze $P^2O^5 + 3RO$. | | | | |
| Anderthalb-phosphors. Bleioxyd | 0,07951<br>0,08013 | 0,07982 | 4985,8 | 397,96 |
| D. Arseniksaure Salze $Ar^2O^5 + R^2O$. | | | | |
| Arseniksaures Kali . . . | 0,15696<br>0,15357<br>0,15840 | 0,15631 | . . . | . . . |
| Arseniksaure Salze $Ar^2O^5 + 3PbO$. | | | | |
| Arseniksaures Blei . . . | 0,07231<br>0,07329 | 0,07280 | 5623,5 | 409,37 |
| E. Schwefelsaure Salze $SO^3 + R^2O$. | | | | |
| Schwefels. Kali . . . . | 0,19034<br>0,18987 | 0,19010 | 1091,1 | 207,40 |
| Schwefels. Natron . . . | 0,23143<br>0,23087 | 0,23115 | 892,1 | 206,21 |

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Product |
|---|---|---|---|---|
| Schwefelsaure Salze $SO^3 + RO$. | | | | |
| Schwefels. Baryt . . . . | 0,11293<br>0,11276 | 0,11285 | 1458,1 | 164,54 |
| Schwefels. Strontian . . . | 0,14331<br>0,14227 | 0,14279 | 1148,5 | 164,01 |
| Schwefels. Blei . . . . . | 0,08734<br>0,08711 | 0,08723 | 1895,7 | 165,39 |
| Schwefels. Kalk . . . . | 0,19656 | 0,19656 | 857,2 | 168,49 |
| Schwefels. Magnesia . . . | 0,22159 | 0,22159 | 759,5 | 168,30 |
| F. Chromsaure Salze. | | | | |
| Chromsaures Kali . . . . . | 0,18493<br>0,18517 | 0,18505 | 1241,7 | 229,83 |
| Doppelt-chroms. Kali . . | 0,18899<br>0,18975 | 0,18937 | 1893,5 | 358,67 |
| G. Boraxsaure Salze $B^2O^6 + R^2O$. | | | | |
| Boraxsaures Kali . . . . | 0,21932<br>0,22018 | 0,21975 | 1461,9 | 321,27 |
| Boraxsaures Natron . . . | 0,23758<br>0,23888 | 0,23823 | 1262,9 | 300,88 |
| Desgleichen $B^2O^6 + RO$. | | | | |
| Boraxsaures Blei . . . . | 0,11441<br>0,11377 | 0,11409 | 2266,5 | 258,60 |
| Desgleichen $B^2O^6 + 2R^2O$. | | | | |
| Boraxsaures Kali . . . . | 0,20551<br>0,20405 | 0,20478 | 1025,9 | 219,52 |
| Boraxsaures Natron . . . | 0,25683<br>0,25734 | 0,25709 | 826,9 | 212,60 |
| Desgleichen $BO^6 + 2RO$. | | | | |
| Boraxsaures Blei . . . . | 0,09004<br>0,09088 | 0,09046 | 1830,5 | 165,54 |
| H. Scheelsaure Salze. | | | | |
| Wolfram . . . . . . . | 0,09738<br>0,09823 | 0,09780 | . . . | . . . |
| I. Silicate. | | | | |
| Zirkon . . . . . . . . | 0,14561<br>0,14555 | 0,14558 | . . . | . . . |
| K. Kohlensaure Salze $CO^2 + R^2O$. | | | | |
| Kohlensaures Kali . . . | 0,21563<br>0,21683 | 0,21623 | 865,0 | 187,04 |
| Kohlensaures Natron . . . | 0,27261<br>0,27289 | 0,27275 | 666,0 | 181,65 |

| Substanzen | Specif. Wärme | Mittel | Atom-gewicht | Pro-duct |
|---|---|---|---|---|
| Desgleichen $CO^2 + RO$. | | | | |
| Island. Doppelspath . . . | 0,20737 | | | |
| | 0,21078 | | | |
| | 0,20750 | | | |
| | 0,20865 | 0,20858 | 631,0 | 131,61 |
| | 0,20942 | | | |
| | 0,20829 | | | |
| | 0,20793 | | | |
| Arragonit . . . . . . | 0,20934 | | | |
| | 0,21020 | | | |
| | 0,20806 | 0,20850 | 631,0 | 131,56 |
| | 0,20769 | | | |
| | 0,20720 | | | |
| Weifser sal. Marmor . . . | 0,21656 | | | |
| | 0,21465 | | | |
| | 0,21571 | 0,21585 | 631,0 | 136,20 |
| | 0,21710 | | | |
| | 0,21522 | | | |
| Grauer sal. Marmor . . . | 0,21016 | 0,20989 | 631,0 | 132,45 |
| | 0,20963 | | | |
| Weifse Kreide . . . . . | 0,21401 | 0,21485 | 631,0 | 135,57 |
| | 0,21569 | | | |
| Kohlens. Baryt . . . . | 0,11008 | 0,11038 | 1231,9 | 135,99 |
| | 0,11068 | | | |
| Kohlens. Strontian . . . | 0,14539 | 0,14483 | 922,3 | 133,58 |
| | 0,14428 | | | |
| Kohlens. Eisen . . . . | 0,19386 | 0,19345 | 714,2 | 138,16 |
| | 0,19303 | | | |
| Kohlens. Blei . . . . . | 0,08596 | 0,08596 | 1669,5 | 143,55 |
| Dolomit . . . . . . . | 0,21661 | 0,21743 | 582,2 | 126,59 |
| | 0,21824 | | | |

Die beiden letzten Substanzen waren etwas unrein.

Regnault läfst auf die Erzählung seiner Versuche noch einige Betrachtungen folgen, die für die Theorie von Wichtigkeit sind und hier nicht übergangen werden dürfen. Zuerst zeigen sich bei Körpern von ähnlicher chemischer Zusammensetzung sehr übereinstimmende Producte ihrer Atomgewichte in die specifischen Wärmen, wie sich durch den blofsen Anblick der tabellarischen Zusammenstellung von selbst herausstellt. Betrachten wir zuerst in der ersten Abtheilung die Metallverbindungen, so zeigen diejenigen, deren Schmelzpunct hoch über dem Siedepuncte des Wassers liegt, die nämlichen Producte ihrer specifischen Wärme in das Atomgewicht, als die Metalle

selbst; liegt aber ihr Schmelzpunct niedriger, so wächst um so mehr dieses Product, als sie bei geringerer Wärme schmelzen oder mindestens weich werden. In der zweiten Abtheilung weicht unter den Oxyden mit einem Atome Sauerstoff bloſs das Nickeloxyd von den übrigen ab, weil es wegen seiner Lockerheit Wasser einsog, eine Eigenschaft, die es durch stärkeres Calciniren schon zum Theil verlor. Gilt dieses als Grund der Abweichung, so sind bei diesen Oxyden *die specifischen Wärmecapacitäten ihren Atomgewichten umgekehrt proportional*, ein Gesetz, welches sich bei allen gleichartigen Verbindungen zeigt. Eine Ausnahme hiervon machen die Bittererde und das Zinkoxyd, welche beide einen vollständigen Isomorphismus zeigen und diese Analogie auch hier beibehalten. Die unter der Reihe B vereinten Oxyde zeigen weniger Uebereinstimmung; wenn man aber berücksichtigt, daſs das Chromoxyd wegen seiner Lockerheit Wasser einsog, wodurch seine specifische Wärme zu groſs wurde, und wenn man den Demantspath und Sapphir ausschlieſst, so fallen die gröſsten Abweichungen weg. Auch bei den unter C und D vereinten Oxyden zeigt sich im Ganzen dieses Gesetz, mindestens läſst sich nicht verkennen, daſs diejenigen Oxyde, welche zu einer und derselben chemischen Formel gehören, sich unter dieses Gesetz bringen lassen, die hervortretenden Abweichungen aber hält Regnault vorzüglich für Folgen des ungleichen Aggregatzustandes; denn daſs auch dieser einen Einfluſs auf die specifische Wärme habe, geht unverkennbar aus der Veränderung derselben hervor, die durch ihre Calcination hervorgerufen wird. Unter den zur dritten Gruppe vereinten Schwefelverbindungen zeigen die unter A genannten das Gesetz sehr augenfällig, von den übrigen kann man weiter nichts sagen, als daſs ähnliche Verbindungen auch mehr oder minder ein gleiches Verhalten ihrer specifischen Wärmecapacitäten zeigen. Ebendieses findet nach Regnault auch bei den Verbindungen der vierten Gruppe statt, vorausgesetzt, daſs die Gründe, die ihn veranlaſsten, die genannten Substanzen zu vereinigen, als genügend erscheinen. Vergleicht man die Resultate der fünften Gruppe unter einander, so führt auch dieses zu einem ähnlichen Resultate, welches auf folgende Weise ausgedrückt werden kann: *Bei zusammengesetzten Körpern, welche das nämliche elektronegative Element enthalten und gleiche Mengen der Atome in sich vereinigen, stehn die spe-*

*cifischen Wärmecapacitäten im umgekehrten Verhältnifs der Atomgewichte.* Allerdings ist dieses Gesetz nicht absolut scharf und stimmt nicht vollständig mit der Erfahrung überein, allein die Abweichung beträgt nur etwa $\frac{1}{10}$ oder höchstens $\frac{1}{9}$. Es lassen sich endlich auch diejenigen Verbindungen unter einander vergleichen, welche verschiedene elektronegative Elemente enthalten, und es zeigt sich dann bei diesen gleichfalls eine gewisse Uebereinstimmung, die zu folgendem Gesetze führt: *Bei allen zusammengesetzten Körpern, in denen gleiche Atommengen vereinigt und welche von einer ähnlichen chemischen Zusammensetzung sind, stehn die specifischen Wärmecapacitäten im umgekehrten Verhältnisse der Atomgewichte.* Das oben vielfach ventilirte *Dulong'sche Gesetz* kann als ein dem eben genannten allgemeinen speciell zugehöriges betrachtet werden, die Erfahrung bestätigt dasselbe innerhalb der nämlichen Grenzen, worin dieses allgemeine als begründet erscheint. Die specifische Wärme der Körper kann betrachtet werden als zusammengesetzt aus der specifischen Wärme an sich und derjenigen latenten, welche durch das Volumen derselben bedingt wird, wobei aber die eigentliche specifische Wärme einen so überwiegenden Theil ausmacht, dafs ihre Wirkung nicht ganz verborgen bleiben kann. Bei den Versuchen tritt aufserdem der Umstand hindernd ein, dafs die specifischen Wärmen alle zwischen den nämlichen Thermometergraden bestimmt werden, statt dafs man die für jeden Körper am meisten geeigneten Temperaturen wählen müfste, z. B. diejenigen, bei denen diese Körper die gröfste Analogie ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften darbieten und den vollständigsten Isomorphismus zeigen. Vorzüglich ist auch die leichtere Schmelzbarkeit der Körper und die Art ihrer Aggregatform von sehr bedeutendem Einflufs.

Es ist oben (§. 437) ausführlich von den so sehr abweichenden Resultaten gehandelt worden, welche die Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme des *Kohlenstoffs* gegeben haben, und namentlich von den Bemühungen, welche de la Rive und Marcet darauf verwandten, diese Gröfse mit möglichster Schärfe zu ermitteln. Regnault unterwarf dieses Problem einer abermaligen genauen Untersuchung, und bestimmte die specifische Wärme folgender Substanzen.

1) Holzkohle, vorläufig mit Säure behandelt und dann stark calcinirt.

2) Thierische Kohle, durch Säuren gereinigt und dann zum Weifsglühn erhitzt. Sie enthielt eine merkliche Quantität Asche, und um sie zu binden, wurde sie mit Oel benetzt und nachher nochmals geglüht.

3) Coke aus der englischen Cannelkohle; sie enthielt 4,5 Procent Asche.

4) Coke von der Kohle aus den Minen zu Rive de Giers; sie enthielt 2,5 Procent Asche.

5) Coke aus dem Anthracit von Wallis; sie enthielt 3 Procent Asche.

6) Kohle, bereitet aus dem Anthracit von Philadelphia; sie enthielt 5,8 Procent Asche.

7) Natürlicher Graphit.

8) Graphit aus einem Hohofen, gereinigt durch Säuren.

9) Metalloidische Kohle aus einer Gasbereitungsröhre.

10) Diamant.

Die erhaltenen Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

| Kohlenarten | Specif. Wärme | Mittel |
|---|---|---|
| Thierische Kohle . . . . . . . | 0,26085 | 0,26085 |
| Holzkohle . . . . . . . . . | 0,24150 | 0,24150 |
| Coke aus der Cannelkohle . . . | 0,20307 | 0,20307 |
| Desgleichen aus Steinkohle . . | 0,20171<br>0,20001 | 0,20085 |
| Kohle aus Anthracit von Wallis . | 0,20338<br>0,20007 | 0,20171 |
| — — — von Philadelphia | 0,20156<br>0,20064<br>0,20081 | 0,20100 |
| Graphit, natürlicher . . . . . | 0,20187 | 0,20187 |
| — aus einem Hohofen . . | 0,19815<br>0,19590 | 0,19702 |
| — aus einer Gasbereitungsröhre | 0,20360 | 0,20360 |
| Diamant — — — — | 0,14809<br>0,14580<br>0,14614<br>0,14738<br>0,14781<br>0,14600 | 0,14687 |

Berücksichtigt man auch den geringen Einflufs, welchen die wenige beigemischte Asche äufsern konnte, so liefern dennoch die Versuche sehr ungleiche Werthe für die verschiedenen Ag-

gregatformen der Kohle. Die specifische Wärme zeigt sich am gröfsten bei der Holzkohle und der thierischen Kohle, was zum Theil ihrer Porosität zuzuschreiben ist; die übrigen Kohlenarten geben sehr nahe übereinstimmende Gröfsen, am meisten aber weicht der Diamant ab. Man ersieht hieraus deutlich, dafs die specifische Wärme der Kohle sehr abhängig von der Aggregatform, und der Dichtigkeit des Gefüges umgekehrt proportional ist[1]. Regnault's Hypothese, wonach der Kohlenstoff in seinen Verbindungen eine andere specifische Wärme haben soll, als wenn er für sich allein besteht, dürfte schwerlich allgemeinen Beifall finden. *M.*

## Wärmesammler.

### Feuersammler, Condensator der Wärme; *Collector Caloris;* Collecteur du Feu.

Diesen Namen hat ein Apparat erhalten, welcher nach bekannten Principien construirt, jedoch von sehr untergeordnetem Nutzen ist, seinem Erfinder aber Veranlassung zur Aufstellung der abentheuerlichsten Hypothesen gegeben hat. Man wufste seit den ältesten Zeiten, dafs die Sonnenstrahlen in dunklen Körpern, worauf sie fallen, eine sehr grofse Wärme erzeugen (§. 54), und um die Gröfse dieser Wirkung zu messen, stellte de Saussure (§. 50) seine bekannten Versuche mit dem *Heliothermometer* an, aus denen sich ergab, dafs durch Concentrirung der Sonnenstrahlen auch ohne Sammlungslinsen nicht blofs der Siedepunct des Wassers erreicht, sondern eine noch 9°,5 C. höhere Hitze erzeugt werden könne. Als dieses im Jahre 1783 durch Briefe bekannt geworden war, machte du Carla[2] die Beschreibung des genannten Apparates, seine damit angestellten Versuche und die Folgerungen bekannt, die er daraus ableiten zu können glaubte. Jener besteht aus einer beliebigen Anzahl gläserner Campanen oder Cylinder, die so dünn und durchsichtig wie möglich seyn sollen. Ihre Durchmesser und ihre Höhen sollen für jede folgende um 3 Linien wachsen, und sie werden über einen hohlen, dünnen, schwarz gefärbten abgestumpften Kegel nach ihrer zunehmenden Gröfse über einander so gestürzt, dafs zwischen ihnen ein dünner, mit Luft erfüllter Zwischenraum bleibt. Die obere kleine Grundfläche des Kegels hat einen um 3 Linien kleineren Durchmesser, als die kleinste Campane, die untere grofse desselben übertrifft den der gröfsten um ebenso

1 Dürfen die hier gegebenen Resultate als hinlänglich genau gelten, so liefse sich aus den Wärmecapacitäten und den genau bestimmten Dichtigkeiten vielleicht das Gesetz der Anhäufung der Wäme zwischen den Molecülen zum Abstande der Molecüle unter einander finden.

2 Journal de Paris 1784. N. 81. Journal général de France. 1784. Mai. Du Feu complet. à Paris 1785. 8. Lichtenberg's Magazin für d. Neueste aus d. Phys. u. Naturgesch. Th. II. St. 4. S. 113.

[library stamp]

viel, wodurch dann die engen Zwischenräume zwischen den über einander gestülpten Campanen leicht erhalten werden. Aufser diesen wesentlichen Theilen gehören zum Apparate noch Kappen, Deckel, eine auf der kleineren Grundfläche des Kegels liegende Halbkugel, ein aus Planspiegeln zusammengesetzter Büffon'scher Hohlspiegel u. s. w. In der Richtung von Nord nach Süd geht durch das ganze System der Campanen eine feine Gallerie, die bis an die massive Halbkugel reicht, und möglichst viele Oeffnungen hat, um diejenigen Körper hinzulegen, auf welche die erzeugte Wärme einwirken soll.

Dem hellen Sonnenschein eines Frühlingstages ausgesetzt, soll dieser Apparat eine solche Menge Wärme sammeln, dafs dadurch ein Kessel voll Eis von mehr als einer Toise im Durchmesser geschmolzen werde, ein Resultat, welches gewifs nicht aus einer scharfen Berechnung hervorgegangen ist. Er soll ferner nicht blofs dazu dienen, die Wärme der Sonnenstrahlen zu sammeln, sondern auch die eines hellen Küchenfeuers, und hierdurch eine Ersparung von Brennmaterial erzielt werden. Um dieses zu erreichen, giebt du Carla noch verschiedene Modificationen seines Apparates an, die im Allgemeinen darauf hinauskommen, dafs man die strahlende Wärme auf ein System von abwechselnd dünnen und dichten Körpern fallen läfst.

Die kaum verständliche Theorie dieser Erscheinungen beruht hauptsächlich auf dem Satze, dafs sich die Wärme an Flächen, wo sich zwei verschiedene Körper berühren, im Verhältnifs der Dichten dieser Körper mittheilen soll. Da aber das Glas ungefähr 2000mal dichter ist, als die Luft, so läfst sich annehmen, dafs bei gleicher Temperatur das Glas in gleichem Raume eine 2000mal gröfsere Wärmemenge, als die Luft enthalte. Wenn sich also Wärme an einer Fläche mittheilt, wo Glas und Luft sich berühren, so theilt das Glas der Luft 2000 Grade mit, indem es nur einen einzigen verliert, die Luft hingegen theilt dem Glase nur $\frac{1}{2000}$stel Grad mit, indem sie einen Grad verliert. Hiernach nimmt der Apparat so viele Wärme an, als wenn er ganz aus Glas bestände, weil seine ganze Masse aus 2000 Theilen Glas und nur einem Theil Luft besteht, verliert aber nur so viel, als wenn er ganz aus Luft bestände, weil er rücksichtlich der Räume zwischen den Campanen aus Luft besteht. Seine Mittheilung an die äufsere Luft wird also 2000mal geringer seyn, als wenn er ganz aus Luft bestände, oder, was dasselbe ist, die abwechselnden Glocken von Glas und Luft berühren sich in 2000mal wenigern Puncten, als wenn der ganze Apparat aus massivem Glase bestände, und die gesammte Wärmemenge hat also 2000mal weniger Wege, sich von der Mitte nach der Oberfläche fortzupflanzen. *M.*

---

Druck von C. P. Melzer in Leipzig.

Staatliche Bibliothek Bamberg

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Gehler, Johann Samuel Traugott

Johann Samuel Traugott Gehler's Physikalisches Wörterbuch

Bd.: 10,1

1841

XBamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.1-a(10,1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763550-4